

KERROSTALON MAANVASTAISTEN RAKENTEIDEN RAKENNUSFYSIKAALINEN TARKASTELU



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

kevät, 2018

Arttu Kieksi

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Visamäki

Tekijä	Arttu Kieksi	Vuosi 2018
Työn nimi	Kerrostalon maanvastaisten rakenteiden rakennusfysikaalinen tarkastelu	
Työn ohjaaja/t	Ville Pulkkinen	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoite oli tutkia kerrostalon maanvastaisten rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa rakennusfysikaalisen simuloinnin avulla. Tutkittavat rakenteet olivat 1950 ja 1960-luvuilla yleisesti käytettyjä maanvastaisia rakenteita. Maanvastaisen seinärakenteiden erona oli eri paikassa sijaitsevat vedeneristeet. Maanvastaisissa alapohjissa erona oli lämmöneristys. Simuloinnit suoritettiin Wufi Pro ja Wufi 2D ohjelmilla. Laskenta tuloksien arvionnin apuna käytettiin VTT:n ja TTY:n kehittämää suomalaista homemallia, jonka avulla pystytään arvioimaan homeenkasvua rakenteissa laskennallisesti.

Laskentatuloksien perusteella voidaan todeta, että 1950 ja 1960-luvuilla yleisesti käytetyt sisäpuolelta lämmöneristetyt maanvastaiset seinärakenteet ovat riskirakenteita, joissa syntyy laskennan perusteella homeenkasvua. Homeen kasvua pääse myös tapahtumaan lämmöneristetyssä kaksoislaatta-alapohjassa ilman kosteuden eristystä.

Rakenteille suunniteltiin ulko- ja sisäpuolinen korjausvaihtoehto. Ulkopuolinen korjausvaihtoehto on nykysuositusten mukainen korjaus, jossa maanvastaisen seinärakenteen maataytöt kaivetaan auki ja betoniseinän pintaan asennetaan vedeneristys, jonka ulkopuolelle asennetaan kosteutta kestävä lämmöneristys. Ulkopuolisessa korjausvaihtoehdossa alapohjaan tehdään uusiva korjaus, jossa tehdään nykysuositusten mukainen alapuolelta lämmöneristetty maanvastainen alapohjarakenne. Sisäpuolisessa korjausvaihtoehdossa maanvastaiseen seinärakenteeseen tehdään sisäpuolinen lämmöneristys kalsiumsilikaattilevyllä, joka mahdollistaa seinärakenteen kuivumisen sisäänpäin. Sisäpuolisessa korjauksessa alapohjan pohjalaattaan tehdään höyrynsulkukäsittely ja siihen vaihdetaan kosteutta kestävä lämmöneriste ja uusi pintalaatta.

Simulointien perusteella ulkopuolinen korjaus on rakennusfysikaalisesti toimiva ratkaisu ja sisäpuoliset korjaukset toimivat tietyin reunaehdoin.

Työn toimeksiantaja oli Sitowise Oy. Sitowise Oy on Suomen suurin suomalaisomisteinen rakennetun ympäristön suunnittelu ja konsultointipalvelu.

Avainsanat rakennusfysiikka, korjausrakentaminen, WUFI, simulointi, kellari

Sivut 60 sivua, joista liitteitä 23 sivua

Name of degree programme

Campus

Author	Arttu Kieksi	Year 2018
Subject	Hygrothermal analysis of basement walls and base floors in apartment buildings	
Supervisors	Ville Pulkkinen	

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to investigate the hygrothermal function of basement walls and base floors. The investigated structures were typically used structures in the 1950's and the 1960's. The difference of the basement walls is the placement of water insulation and in the base floor the other structure has thermal insulation and the other doesn't. The hygrothermal simulation of the structures were simulated with Wufi Pro and Wufi 2D. Finnish mould growth model was used to help evaluate the results. The Finnish mould growth model determines the possibility for mould growth in the structure mathematically.

Based on the simulations the evaluated basement wall structures with internal thermal insulation are riskful structures. Mould growth is forming in the wall structure and also in the thermal insulated base floor without water insulation.

Two methods were planned to improve the structures exterior insulation method and interior insulation method. In the exterior method the soil against the basement wall is removed and water and thermal insulation is placed against the wall. The base floor was dismantled and was rebuild using external thermal insulation. According to current recommendations the exterior method is the one to use. In the internal method the basement wall is thermally insulated internally with calcium silicate board which allows the structure to dry from the inside. The base concrete slab is treated with a vapour barrier and the thermal insulation is changed to a moisture resistant thermal insulation in the base floor.

Based on the simulation the external method is a safe structure building physically. The internal method is can be used under certain boundary conditions.

The thesis was commissioned by Sitowise Oy, which is the largest Finnish-owned design and consultancy company in the field of the built environment.

Keywords building physics, renovation, WUFI, simulation, basement

Pages 60 pages including appendices 23 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	RAKENNUSFYSIKKA.....	1
2.1	Lämmön siirtyminen	1
2.1.1	Konduktio/johtuminen.....	1
2.1.2	Konvektio.....	2
2.1.3	Säteily.....	2
2.2	Ilman kosteus.....	2
2.2.1	Absoluuttinen kosteus	2
2.2.2	Suhteellinen kosteus.....	2
2.2.3	Kyllästyskosteus.....	2
2.2.4	Kastepiste	3
2.3	Kosteuslähteet	3
2.4	Kosteuden siirtyminen	3
2.4.1	Diffuusio	3
2.4.2	Vesihöyryn konvektio.....	4
2.4.3	Kapillaarinen vedenliike	5
3	LASKENTAMALLIN LÄHTÖTIEDOT	5
3.1	WUFI.....	5
3.2	Ulkoilman olosuhteet	7
3.3	Maaperän olosuhteet.....	8
3.4	Viistosade	10
3.5	Sisäilman olosuhteet	11
3.6	Rakennusmateriaalien ominaisuudet	13
3.7	Tarkasteltavat rakenteet	13
3.7.1	Tapaus 1	14
3.7.2	Tapaus 2	17
4	LASKENTATULOKSET	19
4.1	Tapaus 1.....	20
4.1.1	Alkuperäinen rakenne.....	20
4.1.2	Ulkokautta korjattu rakenne	23
4.1.3	Sisäkautta korjattu rakenne	23
4.2	Tapaus 2.....	25
4.2.1	Alkuperäinen rakenne.....	25
4.2.2	Ulkokautta korjattu rakenne	26
4.2.3	Sisäkautta korjattu rakenne	27
5	HOMEEN KASVU RAKENTEESSA.....	28
5.1	Suomalainen homemalli.....	28
5.2	Tapaus 1.....	31
5.2.1	Alkuperäinen rakenne.....	31
5.2.2	Ulkokautta korjattu rakenne	31

5.2.3	Sisäkautta korjattu rakenne	32
5.3	Tapaus 2.....	32
5.3.1	Alkuperäinen rakenne	32
5.3.2	Ulkokautta korjattu rakenne	33
5.3.3	Sisäkautta korjattu rakenne	33
6	JOHTOPÄÄTÖKSET/TOIMENPIDE-EHDOTUKSET.....	33
	LÄHTEET.....	36

Liitteet

Liite 1	Rakennusmateriaalien ominaisuudet
Liite 2	Laskentatulokset

1 JOHDANTO

Toimeksiantaja Sitowise Oy on teettänyt aiemmin opinnäytetyön asuinrakennusten maanvastaisten rakenteiden korjaamisesta, jossa tuli esille tarve rakenteiden rakennusfysikaalisesta mallintamisesta. Sitowise Oy on Suomen suurin suomalaisomisteinen rakennetun ympäristön suunnittelu ja konsultointipalvelu.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan maanvastaisten rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa WUFI 2D- ja WUFI PRO-rakennusfysikaalisilla simulointiohjelmilla. Laskentatuloksia tarkastellaan Suomalaisen homemallin avulla, joka simuloi homeen kasvua rakenteessa laskentakaavojen mukaan.

Opinnäytetyön tavoite on tarkastella olemassa olevien maanvastaisten rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa ja tarkastella yleisesti käytettyjen korjausvaihtoehtojen rakennusfysikaalista toimintaa. Lisäksi tavoitteen oli vertailla yrityksen kehittämiä olosuhdetietojen laskentatuloksia Heiskanen (2016) diplomityön tuloksiin.

Rakennusfysikaalinen simulointi on tarkin keino tarkastella maanvastaisen rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa ja selvittää teoreettisesti rakenteen mahdollista homekasvua. Rakennusfysikaalinen simulointi on kuitenkin melko vaativa toimenpide, koska simulointi vaatii suuren määrän lähtötietoja. Materiaalintoimittajien antamat lähtötiedot eivät ole yleensä riittäviä.

Tutkittavat rakenteet ovat yleisesti käytettyjä maanvastaisia rakenteita eri aikakausilta. Rakennusfysikaalinen simulointi suoritetaan sekä alkuperäisille rakenteille, että korjausvaihtoehtoille.

2 RAKENNUSFYSIKKA

2.1 Lämmön siirtyminen

Lämpö siirtyy paikasta toiseen kolmella eri tavalla: konduktiolla eli johtumalla, konvektion avulla ja säteilemällä (Siikanen 2014, 40).

2.1.1 Konduktio/johtuminen

Lämmön konduktiossa molekyylien liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen. Lämpö virtaa väliaineessa lämpimästä kylmempää päin. (Siikanen 2014, 40.)

2.1.2 Konvektio

Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai veden virtauksen mukana, joko pakotettuna tai luonnollisena. Pakotettu konvektio tapahtuu jonkin ulkoisen voiman vaikutuksesta. Luonnollinen konvektio johtuu lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista. (Björkholz 1997, 13.)

2.1.3 Säteily

Säteilyssä eli emissiossa lämpöenergia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä valonnopeudella. Rakennusfysiikassa säteilyä esiintyy lyhytaaltoisena auringonsäteilynä ja kappaleiden säteilemänä pitkäaaltoisen säteilynä. (Siikanen 2014, 40.)

2.2 Ilman kosteus

Ilman kosteutta voidaan kuvata absoluuttisena kosteutena, suhteellisena kosteutena ja vesihöyryn osapaineena (Siikanen 2014, 68.).

2.2.1 Absoluuttinen kosteus

Absoluuttinen kosteus kertoo kuinka paljon ilma sisältää vesihöyryä grammoina ilmaukuutiometriä kohden (g/m^3). Mitä lämpimämpää ilma on sitä suurempi absoluuttinen kosteus voi olla. (Siikanen 2014, 68.)

Absoluuttinen kosteus voidaan laskea suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta kaavalla:

$$v_k = s_k 10^{-2} (4,85 + 3,47(t/10) + 0,945(t/10)^2 + 0,158(t/10)^3 + 0,0281(t/10^4)) \quad (1)$$

Kaavaa voidaan käyttää lämpötila-alueella $-20^\circ\text{C} \dots +80^\circ\text{C}$. (Björkholz 1997, 43.)

2.2.2 Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus on suure, joka kertoo ilman sisältämän vesihöyryn määrän enimmäisvesihöyrymäärästä, jonka sen lämpöinen ilma voi sisältää. Suhteellisen kosteuden enimmäismäärä on 100%. (Siikanen 2014, 69.)

2.2.3 Kyllästyskosteus

Kyllästyskosteus on tila, jossa ilma sisältää maksimimäärän vesihöyryä tietyssä lämpötilassa (g/m^3) (Siikanen 2014, 69.).

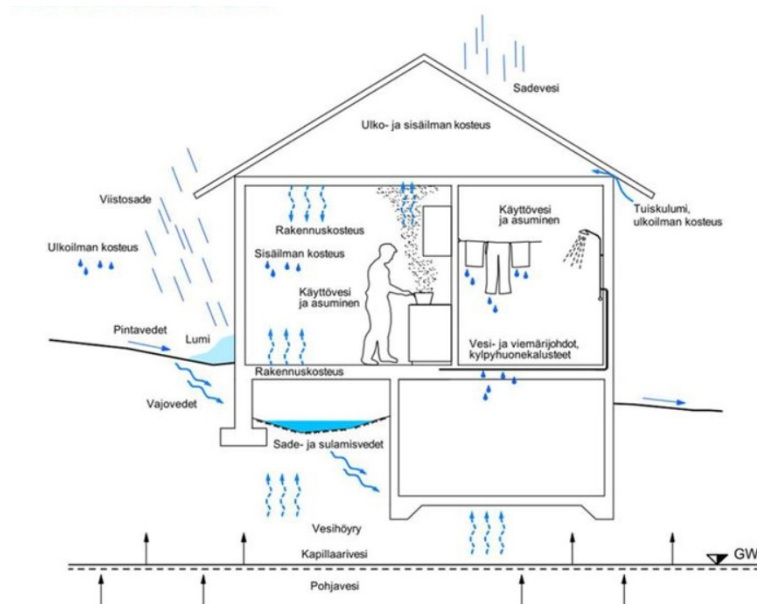
2.2.4 Kastepiste

Kastepiste on lämpötila, jossa ilmassa oleva vesihöyry kondensoituu vedeksi. Kastepisteessä ilmankosteus saavuttaa kyllästyskosteuden. (Siikanen 2014, 70.)

2.3 Kosteuslähteet

Rakennusta rasittavat sekä ulkoiset ja sisäiset kosteuslähteet. Ulkoisia kosteuslähteitä ovat esimerkiksi vesi- ja lumisade, ulkoilman kosteus, pinta- ja vajovedet sekä pohjavesi. Sisäiset kosteusrasitukset ovat rakennuskosteus ja rakennuksen käyttäjien aiheuttamat kosteusrasitukset.

Rakennuskosteus on varastoinnin ja rakennusaikana rakennusaineisiin varastoitunutta ylimääräistä kosteutta (Siikanen, 78). Rakennuksen käyttäjien aiheuttamia kosteusrasituksia ovat esimerkiksi ruuanlaitto, pyykin kuivaus ja suihkussa käyminen.



Kuva 1. Rakennusta rasittavat kosteuslähteet (RIL 255-1-2014, 39).

2.4 Kosteuden siirtyminen

Ilman sisältämä kosteus kulkeutuu rakenteisiin diffuusiolla ja vesihöyryn konvektiolla (Siikanen 2017, 70). Kosteus voi siirtyä rakenteisiin myös kapillaarisesti.

2.4.1 Diffuusio

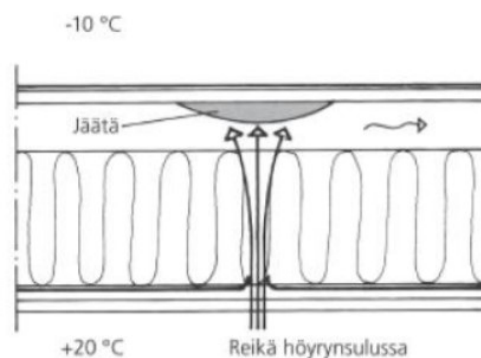
Diffuusiossa epämääräisesti jakautuneessa kaasuseoksessa kaasumolekyylit pyrkivät muodostamaan tasaisesti jakautuneen kaasuseoksen.

Diffuusiolla tarkoitetaan rakennustekniikassa yleensä vesihöyryn liikettä rakenteen läpi. Diffuusiossa kosteus kulkeutuu rakenteisiin vesihöyryn osapaine-eron vuoksi. Diffuusio tapahtuu aina suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempään, eli yleisesti sisältä ulos. Diffuusion suunta on yleisimmin lämpimästä tilasta kylmempään. Vesihöyryn liiallinen pääsy rakenteisiin estetään vesihöyrytiivillä kerroksella. Vesihöyrytiivis kerros sijoitetaan lämmöneristeen ja lämpimän sisäilman välille. Seinärakenteet suunnitellaan siten, että vesihöyrynvastus pienenee kylmään päin mentäessä. (Siikanen 2014, 70-71)

2.4.2 Vesihöyryn konvektio

Konvektiossa vesihöyryä siirtyy ilmavirtauksen mukana. Ilmavirtauksia syntyy, kun rakenteessa on erilaiset ilman kokonaispaineet. Kokonaispaine-eroja aiheuttavat tuuli, lämpötilaerot sekä ilmanvaihtojärjestelmät. Vesihöyryn konvektiota voi tapahtua rei'issä raoissa, sekä huokoisissa materiaaleissa. Reikien ja rakojen kautta tapahtuva vesihöyryn konvektio on huomattavasti merkittävämpi, kuin huokoisissa materiaaleissa tapahtuva konvektio. Vaikutuksiltaan konvektio voidaan jakaa kahteen. Ulkoa sisälle päin tapahtuvassa konvektiossa ilma lämpenee liikkueessaan sisälle päin, jolloin ilman kosteudensitomiskyky kasvaa ja täten kuivattaa rakennetta. Ulkoa sisälle päin tapahtuvassa konvektiossa ilma jäähtyy liikkueessaan sisältä ulos päin, täten rakenteeseen voi kertyä haitallisesti kosteutta tai tiivistyä kylmiin pintoihin. (Björkholtz 2004, 57-58)

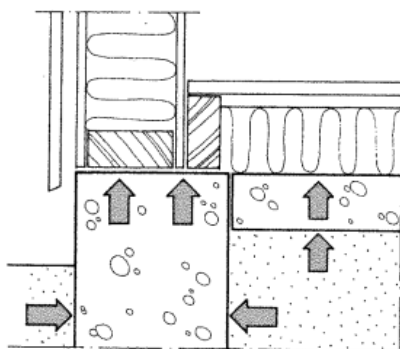
Rakojen ja reikien vaikutus rakenteen toimintaan on suurimmillaan kylmänä vuodenaikana, jolloin sisältä ulos ilmanpaine-erojen vuoksi tapahtuvalla ilmavirtauksella rakenteeseen voi kulkeutua moninkertaisia kosteusmääriä diffuusioon verrattuna. Rakenteen läpi kulkevat konvektiovirtaukset estetään tiiviillä kerroksella, kuten höyrynsulkumuovilla, vuoraukspaperilla tai tiiviillä rakennuslevyllä. (Siikanen 2014, 72)



Kuva 2. Konvektiovirtaus ja kosteuden kertymä tasakatossa (Siikanen 2014, 68).

2.4.3 Kapillaarinen vedenliike

Kapillaarinen vedenliike tarkoittaa huokoisalipaineen paikallisten erojen aiheuttamaa veden siirtymistä huokoisessa aineessa. Kapillaarinen vedenliike johtuu rakennusaineiden pyrkimyksestä päästä kapillaariseen tasapainokosteuteen. Rakennesuunnittelussa kapillaarinen vedenliike katkaistaan huokoiseen ainekseen esimerkiksi kermillä, muovilla tai muulla riittävän tiiviillä pintakerroksella. (Siikanen 2014, 68)



Kuva 3. Kapillaarinen vedenliike perustuksissa (Siikanen 2014, 68).

3 LASKENTAMALLIN LÄHTÖTIEDOT

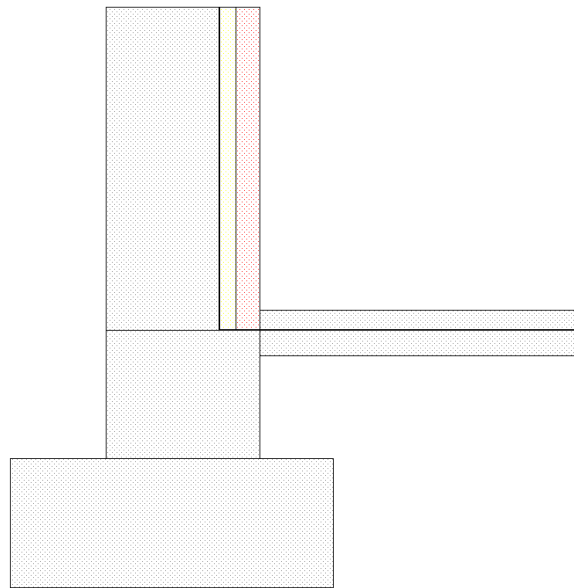
3.1 WUFI

Wufi on Fraunhofer-Institut für Bauphysikin kehittämä lämmön- ja kosteudensiirron simulointiohjelma (Wufi-Wiki 2008). Wufilla rakennetta voidaan tarkastella epästationääritilassa, eli muuttuvassa sisä- ja ulkoilman olosuhteessa (RIL 255-1-2014, 74). Tarkasteltavien rakenteiden rakennusfysikaalinen tarkastelu tehtiin Wufi Pro ja Wufi 2D -ohjelmilla. Wufi Pro -ohjelmalla simuloitiin rakenteita yhdessä ulottuvuudessa ja Wufi 2D -ohjelmalla kahdessa ulottuvuudessa. Wufi Pro laskennassa tarkastellaan siis ainoastaan rakennetyyppejä. 2D -ohjelmalla pystytään tarkastelemaan rakenteiden liittymiä.

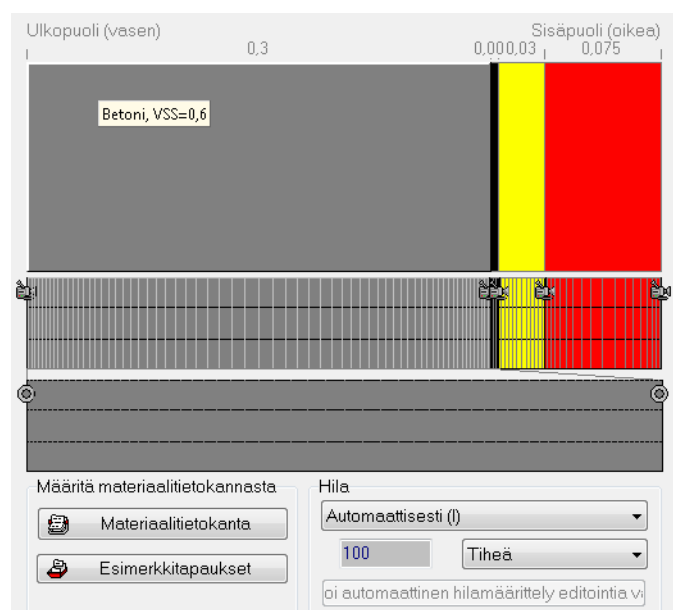
Tässä opinnäytetyössä kellarin rakennetyypit mallinnettiin Wufi Pro ohjelmalla, sekä kellarin maanvastaisista rakenteista tehtiin 2D-malli. Kellarien maanvastaiset rakenteet mallinnettiin kahdessa osassa Wufi 2D-ohjelmalla laskennan nopeuttamiseksi.

Rakenteiden rakennusfysikaalinen mallinnus aloitetaan tekemällä rakenteen geometria. Wufi 2D:ssä geometria luodaan eri kokoisista suorakulmioista. Pro ohjelmassa rakenteille määritetään ainoastaan paksuus. Geometrian luonnin jälkeen määritellään suorakulmioiden materiaalit. Materiaaliominaisuudet voidaan valita, joko Wufin omasta kirjastosta tai luoda

omia materiaaleja esimerkiksi rakennusfysikaalisten julkaisujen ja aikaisempien tutkimusten pohjalta.

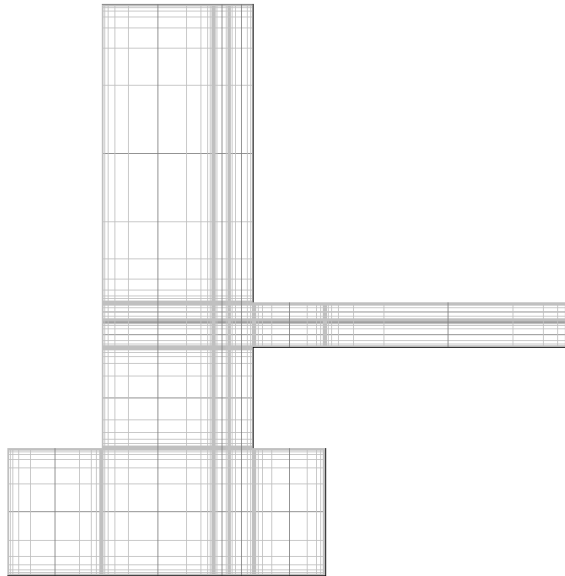


Kuva 4. Wufi 2D laskentamalli



Kuva 5. Wufi Pro laskentamalli

Wufi jakaa rakenteen materiaalit xy-koordinaatiston suuntaisiin suorakulmisiin elementteihin. Yhden elementin sisällä olosuhde on aina vakio. Elementtien kokoa voidaan muokata, mutta tässä opinnäytetyössä käytettiin Wufin oletusarvoja 1D ja 2D laskennassa. Laskentaverkkoa tiheentämällä saadaan tarkempia tuloksia, mutta se nostaa laskenta-aikaa huomattavasti (RIL-255-1-2014).



Kuva 6. Wufi 2D elementtijako

Elementtiverkon ja materiaalien määrittämisen jälkeen materiaaleille asetetaan lähtöolosuhteet, joista laskenta lähtee liikkeelle. Tämän jälkeen pinnoille asetetaan olosuhteet, kuten sisäilma, ulkoilma ja maaperän eri olosuhteet.

3.2 Ulkoilman olosuhteet

Suomen ulkoilman olosuhteista on määritelty rakennusfysikaaliset testivuodet, jotka ovat homeenkasvun ja kosteuden kondensoitumisen kannalta kriittisiä. Testivuodet ovat määritetty TTY:n FRAME-projektissa yhteistyössä ilmatieteenlaitoksen kanssa. Testivuosi nykyilmastossa valittiin Jokioisen 2004 ja Vantaan 2007 ulkoilman olosuhteet. Lisäksi näistä vuosista on luotu rakennusfysikaaliset testivuodet tulevaisuuden ilmas-
toille 2030, 2050 ja 2100. (RIL 255-1-2014, 67-68)

Jokioisten testivuosiä käytetään vaipparakenteille, joiden rakennusfysikaaliseen toimintaan vaikuttaa ulkoilman kosteusolosuhteista eniten suhteellinen kosteus. Jokioisten testivuosiä käytettäessä kriittisin ilmansuunta on yleensä pohjoinen, koska auringon säteilyn kuivattava ja lämmittävä vaikutus on pienin. Vantaan testivuosiä käytetään vaipparakenteille, joiden rakennusfysikaaliseen toimintaan vaikuttaa suhteellisen kosteuden lisäksi myös sade ja viistosade. Vantaan testivuosiä käytettäessä kriittisin ilmansuunta on etelä, koska viistosade on siellä voimakkainta ja auringonsäteily tehostaa ulkoilmaan sitoutuneen kosteuden liikkumista rakenteen sisäosiin diffuusiolla. (mt.,68-69)

Rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa on tärkeää löytää kriittinen testivuosi, koska rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa ei käytetä olosuhteiden osalta lisävarmuuksia tai varmuuskertoimia. (mt.,67)

Rakennusfysikaalisten testivuosien käytössä on otettava huomioon, että testivuodet eivät ole yleensä rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta kaikkein kriittisimpiä. Testivuodet eivät ota huomioon rakennuksen ympärillä olevaa mikroilmastoa, joka voi synnyttää paljon kriittisemmät olosuhteet rakenteelle. Tämän vuoksi rakenteet on hyvä suunnitella siten, että raja-arvot homeen kasvulle tai kosteuden kondensoitumiselle alitetaan selvästi kriittisissä kohdissa. (mt., 69)

Taulukko 1. Esimerkkejä eri vaipparakenteiden kosteusteknisissä tarkasteluissa käytettävistä rakennusfysikaalisista testivuosista ja ilmansuunnista (Vinha ym. 2013, 45)

Rakennetyypit	Testivuosi		
	Nykyilmasto	2050 ilmasto	2100 ilmasto
Rakenteet, joissa ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan. <u>Esimerkkirakenteita:</u> - puu- ja metalliverhotut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet ¹ - harkkorakenteet ¹ - sisäpuolelta eristetyt massiivirakenteet - yläpohjat, joissa on vesikate - ryömintätilaiset alapohjat	<i>Jokioinen 2004</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: pohjoinen ²	<i>Jokioinen 2050</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: pohjoinen ²	<i>Jokioinen 2100</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: pohjoinen ²
Rakenteet, joissa sade ja ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttavat niiden sisäosan kosteustekniseen toimintaan <u>Esimerkkirakenteita:</u> - tiiliverhotut ulkoseinät - eristerapatut ulkoseinät - betonisandwich-rakenteet ¹ - harkkorakenteet ¹ - käännetty katot	<i>Vantaa 2007</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: etelä	<i>Vantaa 2050</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: etelä	<i>Vantaa 2100</i> ilmansuunta seinärakennetarkasteluissa: etelä

¹ Rakenteesta riippuen kumpi tahansa testivuosi voi olla kriittisempi. Rakenteen toiminta on syytä tarkistaa kummallakin testivuodella.

² Rakenteen ulkopinnan kosteusteknistä toimintaa tarkasteltaessa kriittisin ilmansuunta voi olla myös joku muu kuin pohjoinen (ks. luku 4.5.3).

Tässä opinnäytetyössä käytetään ulkoilman olosuhteena rakennusfysikaalisissa tarkasteluissa Jokioinen 2004 testivuotta ja ilmansuunta on pohjoinen. Jokioisten testivuosi valittiin, koska maanvastaisille rakenteille korkea suhteellinen kosteus on kriittisempi kuin sade.

3.3 Maaperän olosuhteet

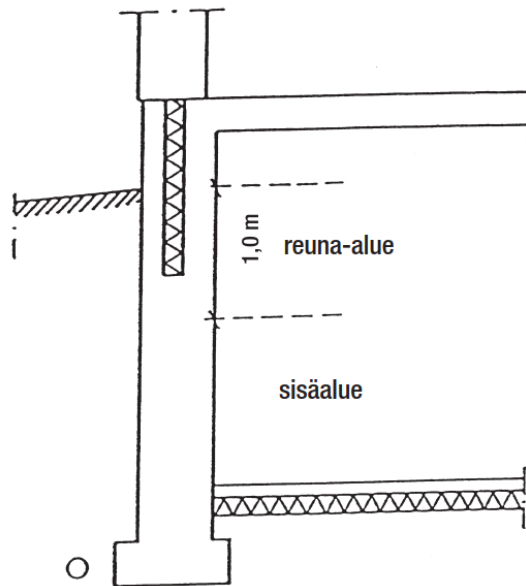
Toisin kuin maanpäällisille rakenteille maanvastaisille rakenteille ei ole kehitetty vakiintuneita simulointiolosuhteita, kuten rakennusfysikaaliset testivuodet (Aronen 2018).

Kellarin seinän reuna-alueella olosuhteena käytettiin ulkopinnassa suhteellista kosteutta 97%. Suhteellinen kosteus nostettiin 100% Jokioinen 2004 sadetunteina. Kellarin seinän sisäalueella ja maanvastaisen laatan ulkopinnassa suhteellinen kosteus pidettiin vakiona RH100%. Maaperän lämpötilat määriteltiin Jokioisilla 2004 mitattujen maan lämpötilojen mukaan. Lämpötilat eivät ole kuitenkaan ole suoraan käyttökelpoisia, koska rakennus johtaa lämpöä maaperään. Maanvastaisen rakenteen vierustalla olevalle perusmaalle käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 lämmönvastusten arvoja, joiden avulla laskettiin rakenteen ulkopinnan lämpötila. (Aronen 2018.)

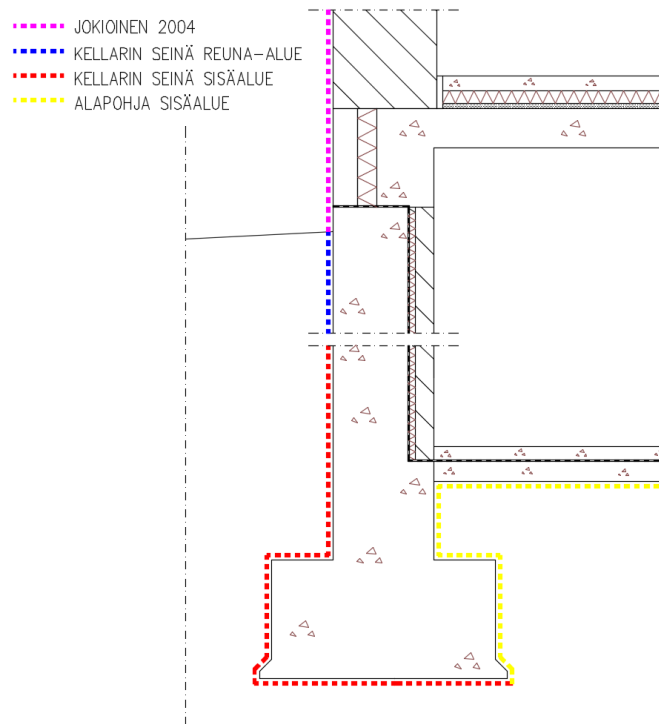
Taulukko 2. Maan lämmönvastus ja lämmönjohtavuus (RakMk C4 2002, 19)

Maa-aines	Normaalinen lämmönjohtavuus λ_n W/m K	Maan lämmönvastus R_p m^2K/W			
		Perusmaa alapohjan alla		Perusmuurin viereinen maa	
		reuna-alue	sisä-alue	reuna-alue	sisä-alue
1	2	3	4	5	6
Savi Hiekka ja sora, salaojitettu	1,4	0,8	3,20	0,40	1,60
Hiesu ja hieta Hiekka ja sora, salaojittamaton Moreeni	2,3	0,50	2,00	0,25	1,00
Kallio	3,5	0,30	1,20	0,15	0,60

Maan lämmönvastuksina käytettiin olemassa olevalle ja sisäkautta korjattulle rakenteelle kellarin seinässä reuna-alueelle $0,25 (m^2 K) / W$ ja sisäalueelle $1 (m^2 K) / W$. Alapohjaan vastaava arvo on $2 (m^2 K) / W$. Alapohjalle käytetään sisäalueen arvoja, koska ne ovat yli metrin syvyydessä maanpinnasta. Ulkokautta korjattulle rakenteelle käytettiin salaojitetun maa-aineksen arvoja taulukon 2 mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2002, 18-19)



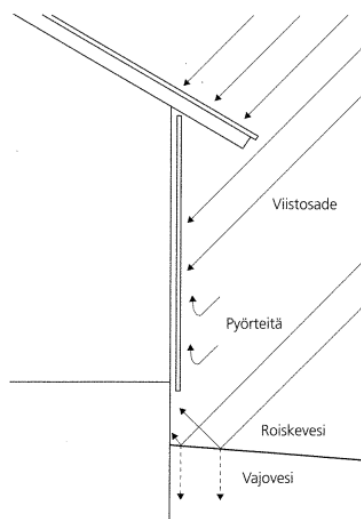
Kuva 7. Seinän maanvastaisen osan aluejako (RakMk C4 2002, 19)



Kuva 8. Kellarin rakenteen ulkopinnan simulointiolosuhteet eri alueilla.

3.4 Viistosade

Viistosade on sade, jossa sade kohdistuu tuulenpaineen avulla myös seinärakenteisiin. Viistosade on suurimmista rakennuksen vaippaan kohdistuvista rasitustekijöistä ja kosteusvaurionaiheuttajista. (Siikanen 2014, 67)



Kuva 9. Viistosateen kohdistuminen rakenteeseen (Siikanen 2014, 67)

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan korkeiden rakennusten alaosa, joten viistosadekerttoimelle käytetään arvoa 0,05. Sateen absorptiokertoimena käytettiin 0,7 (Wufi-Wiki 2008).

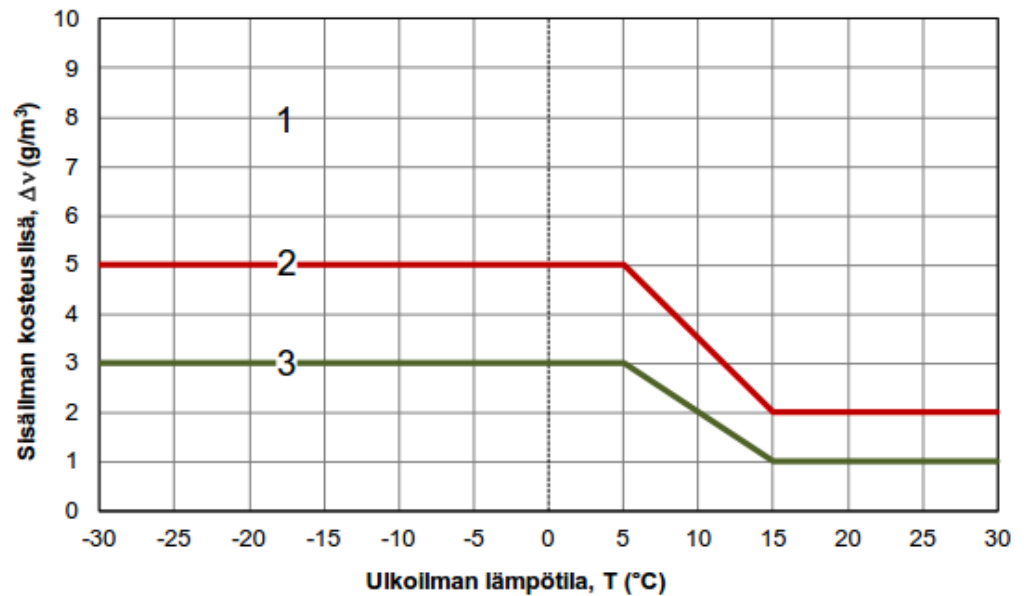
Taulukko 3. Wufin viistosadekerttoimet

matala rakennus, $h < 10$ m	$r_s=0,07$ s/m
korkean rakennuksen alaosa, $h < 10$ m	$r_s=0,05$ s/m
korkean rakennuksen keskiosa, $h=10-20$ m	$r_s=0,1$ s/m
korkean rakennuksen yläosa, $h > 20$ m	$r_s=0,2$ s/m

3.5 Sisäilman olosuhteet

Asuminen ja rakennusten käyttöön liittyvät toiminnot tuottavat sisäilmaan lisäkosteutta. Lisäkosteus synnyttää vesihöyrypitoisuuseron sisä- ja ulkoilman välille eli sisäilman kosteuslisän. Sisäilman kosteuslisä ilmaisee, kuinka paljon suurempi sisäilman vesihöyrypitoisuus on kuin ulkoilman. Kosteuslisä on suurimmillaan yleensä talvella, koska kosteuden tuotto on talvella suurimmillaan ja kylmään ulkoilmaan ei mahdu yhtä paljon kosteutta, kuin lämpimään sisäilmaan. Sisäilman kosteuslisä on pienempi kesäisin, koska rakennusten käyttäjät ovat enemmän poissa sisätiloista kuin talvella ja lisäksi sisäilmaa tuuletetaan enemmän pitämällä ovia ja ikkunoita auki. (RIL 107-2012, 23.)

Suomessa on suositeltavaa käyttää kuvan 10 ja taulukon 4 arvoja kosteuslisän mitoitusarvoina. (RIL 107-2012, 23)



Kuva 10. Sisäilman kosteuslisän mitoitusarvot eri kosteusluokissa ulkolämpötilan funktiona (RIL 107-2012, 24)

Taulukko 4. Sisäilman kosteuslisän perusteella määritettyihin kosteusluokkiin kuuluvat rakennustyyppit (RIL 107-2012, 24)

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitus arvo talvella ($T \leq 5$ °C)	Rakennustyyppi
1	$> 5 \text{ g/m}^3$	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	5 g/m^3	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat, kylmä- ja pakkashuoneet, talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	3 g/m^3	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

Sisäilman kosteuslisänä käytetään laskennassa taulukon 4 kosteusluokan 2 mukaisia arvoja. Sisäilman vakiolämpötilaksi määritettiin 21°C asumisterveysohjeen mukaisesti (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 13).

3.6 Rakennusmateriaalien ominaisuudet

Jotta laskentatulokset vastaavat oikean rakenteen toimintaa on erittäin tärkeää määrittää rakennusmateriaalien materiaaliominaisuudet oikein. Laskennassa tärkeimmät materiaaliominaisuudet ovat:

- ominaislämpökapasiteetti
- lämmönjohtavuus ja lämmönvastus
- pinnan säteilyominaisuudet
- ilmanläpäisevyys ja ilmanläpäisyvastus
- tasapainokosteus ja ominaiskosteuskapasiteetti
- vesihöyrynläpäisevyys ja vesihöyrynvastus
- kapillaarisuusominaisuudet
- kosteudenjohtavuus ja kosteusdiffusiviteetti
- homehtumisominaisuudet

Rakennusmateriaalien ominaisuudet vaihtelevat raaka-aineiden ja valmistuksen vaihtelujen mukaan aina jonkin verran. Saman materiaalinimikkeen materiaalien ominaisuudet voivat erota paljon toisistaan. Tämän vuoksi tulisi käyttää paljon Suomessa käytettäviä materiaaleja tai mikäli mahdollista materiaalien omia mittaustuloksia. Näitä tuloksia on kuitenkin melko huonosti tarjolla. (RIL 255-1-2014, 81)

Rakennusmateriaalien ominaisuudet pyrittiin ottamaan ensisijaisesti Wufi:n omasta materiaalitietokannasta. Wufi:n materiaalitietokannan materiaalien ominaisuuksia vertailtiin rakennusfysikaalisien julkaisujen ja aikaisemmissa tutkimuksissa käytettyjä arvoja. Käytetyt materiaaliominaisuudet on esitelty liitteessä 1. Mikäli Wufi:n materiaalitietokannasta ei ollut tarvittavaa materiaalia käytettiin arvoja rakennusfysikaalisista julkaisuista ja aikaisemmista tutkimuksista.

3.7 Tarkasteltavat rakenteet

Tarkasteltaviksi rakenteiksi valittiin kaksi aikakaudelle tyypillistä maanvastaista rakennetta. Tapauksen 1 maanvastainen seinärakenne on veden- ja lämmöneristetty sisäpuolelta, kun taas tapauksen 2 kellarin seinärakenne on vedeneristetty ulkopuolelta, mutta lämmöneristetty sisäpuolelta. Tapauksen 1 alapohja on eristämätön ja tapauksen 2 alapohja on eristetty kaksoislaattarakenteella. Kellarin seinille suunniteltiin kaksi erilaista korjausta ulkopuolinen korjaus ja sisäpuolinen korjaus. Kummasakin tapauksessa sisäpuoliset lämmöneristeet puretaan ja tapauksessa 1 sisäpuolinen kosteudeneristys. Alapohjille suunniteltiin kokonaan rakenteen uusiva korjaus ja tapaukseen 2 sisäpuolelta tehtävä korjaus.

Ensisijainen korjaustapa on korjata maanvastainen seinärakenne ulkokaudesta. Maanvastaisen seinän rakennusfysikaalisesti toimivin rakenneratkaisu on käännetty rakenne. Käännetyssä rakenteessa jatkuva vedeneriste sijaitsee kantavan seinän ulkopinnassa ja lämmöneriste uloimpana kerroksena. Lisäksi jatkuva vedeneriste toimii rakenteessa ilmansulkuna. (Ympäristöministeriö 2018.)

Mikäli ulkopuolisia korjauksia ei mahdollista tehdä voidaan seinä korjata myös sisäpuolelta. Sisäpuolisten korjausten suunnittelussa on huomioitava, että maanvastaista seinää vasten ei saa asentaa mikrobivaurioherkkiä materiaaleja, kuten esimerkiksi puuta tai orgaanisia aineita sisältäviä lämmöneristeitä. (Ympäristöministeriö 2018.) Sisäpuolisissa korjauksissa korjaustavaksi valittiin kalsiumsilikaattilevy. Sisäpuoliselle korjaukselle on monia muita korjaustapoja. Heiskasen (2016) mukaan sisäpuoliset korjaukset EPS-eristeellä ja kevytbetonilla ei ole toimivia. Lisäksi liian tiheä kalsiumsilikaattilevykään ei ole toimiva rakenteessa. Kalsiumsilikaattilevyä valittaessa on erittäin tärkeää tutustua eristeen ominaisuuksiin ja valita sellainen kalsiumsilikaattilevy, jolla on mahdollisimman suuri kapillariteettikerroin ja pieni diffuusiovastus.

Kalsiumsilikaattilevyjen ominaisuuksia on tutkittu Vainion (2016) diplomityössä.

Alapohjien uusivassa korjauksessa olemassa olevat betonilaatat, lämmöneristeet, kosteudeneristeet ja alustäytöt puretaan. Purkutöiden jälkeen rakenne voidaan tehdä olemassa olevine määräysten ja ohjeiden mukaisesti alapuolisella lämmöneristyksellä.

Rakennusosien U-arvoa on parannettava korjausten yhteydessä mahdollisuuksien mukaan (Ympäristöministeriö 2013). Ympäristöministeriön asetuksessa ei ole erikseen mainittu maanvastaisien seinien U-arvon parantamisesta. Asetuksen mukaan alapohjissa energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan. Tässä opinnäytetyössä pyritään puolittamaan rakenteiden U-arvot ulkopuolisissa korjauksissa. Sisäpuolisissa korjauksissa U-arvojen puolittamiseen voidaan tinkiä rakennusfysikaalisen toiminnan varmistamiseksi.

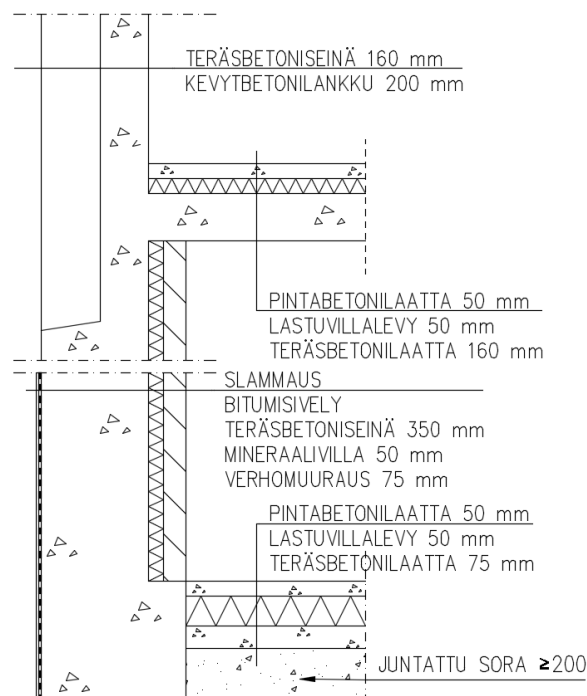
3.7.1 Tapaus 1

Tapaus 1 on esimerkkitalosta 1958. Rakennus on tiilimuurirunkoinen. Ulkoseinät ovat puolentoista kiven reikätiilimuureja. Kantavat väliseinät ovat puolen kiven suurttiilimuureja. Välipohjat ovat paikalla valettuja massiivilaattoja. Rakennuksen maanvastaiset seinät ovat paikalla valettuja betoni-seiniä. Rakenne on kosteuden- ja lämmöneristetty rakenteen sisäpuolelta. Kosteudeneristykseenä on bitumisively ja lämmöneristykseenä vuorivilla. Kellarin seinät on verhottu tiilimuurauksella. Alapohja on

3.7.2 Tapaus 2

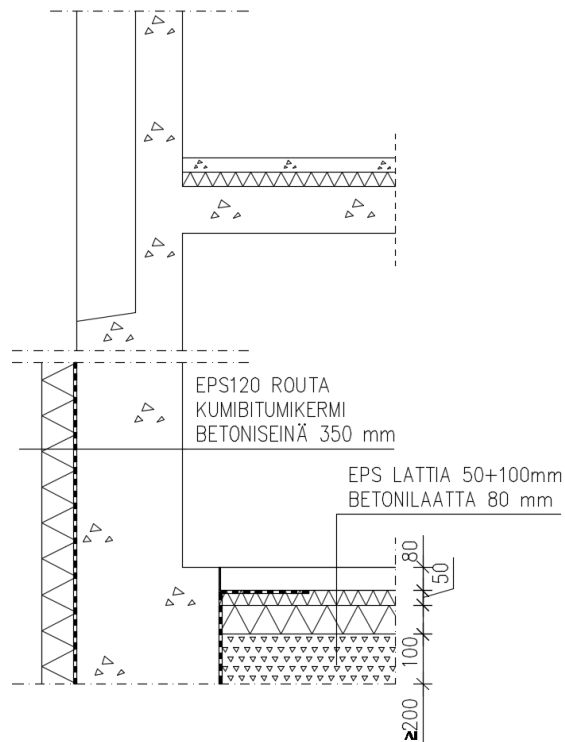
Tapaus 2 on esimerkkitalosta 1963. Rakennus on kirjahyllyrunkoinen. Pitkillä sivuilla käytetään betonisandwich-elementtejä, päädyissä kevytbetonieristettyjä paikallavalettuja betoniseiniä. Välipohjat ovat paikallavalettuja massiivilaattoja. Rakennuksen maanvastaiset seinät ovat paikalla valettuja betoniseiniä, jotka ovat kosteudeneristetty bitumisivellyllä ulkopuolelta. Seinä on lämmöneristetty sisäpuolelta mineraalivillalevyllä ja verhottu tiilimuurauksella. Alapohja on kaksoislaattarakenteinen. Alapohjan eristeenä on lastuvillasegmenttilevy (Rakennustieto Oy 2006, 192-197.).

Alkuperäisen kellarin seinän U-arvo on reuna-alueella noin $0,49 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$ ja sisäalueella $0,36 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$. Alapohjarakenteen U-arvo on noin $0,25 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$.



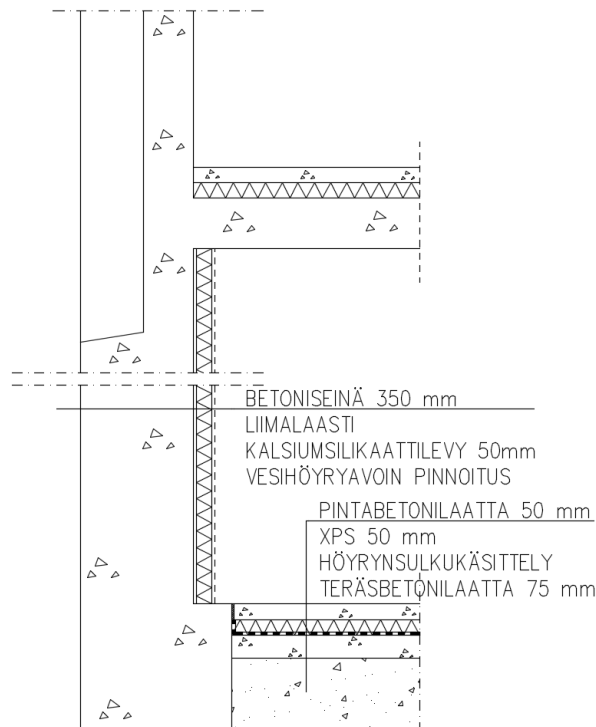
Kuva 14. Tapaus 2 alkuperäinen rakenne

Ulkokautta korjattava rakenne tehdään vastaavasti kuin ensimmäisessä tapauksessa. Verhomuuraus ja sisäpuoliset lämmöneristeet puretaan. Ulkopuolinen slammaus ja kosteudeneristys puretaan, jotta betoniseiniin pystytään asentamaan jatkuva vedeneristys. Vedeneristyksen päälle asennetaan lämmöneriste. Ulkopuolelta korjatun rakenteen U-arvo on 100mm EPS-eristeellä reuna-alueella $0,31 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$, sisäalueella $0,25 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$.



Kuva 15. Tapaus 2 ulkokautta korjattu rakenne

Kuten tapauksessa 1 alapohjarakenteen uusivan korjauksen eristeenä käytetään 150mm EPS-eristettä. Eristeiden päälle valetaan uusi 80 mm vahva pintabetonilaatta. Uuden alapohjan U-arvo on $0,16 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$. Sisäpuolissa korjauksessa toimitaan Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden korjausopas (Ympäristöministeriö 2018) ohjeiden mukaan. Pintalaatta ja olemassa oleva lämmöneristys puretaan. Pohjalaatan päälle tehdään epoksilla höyrynsulkukäsittely, jonka päälle asennetaan XPS-eristelevy ja valetaan uusi pintalaatta. Sisäkauttakorjatun rakenteen U-arvo on $0,27 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$.

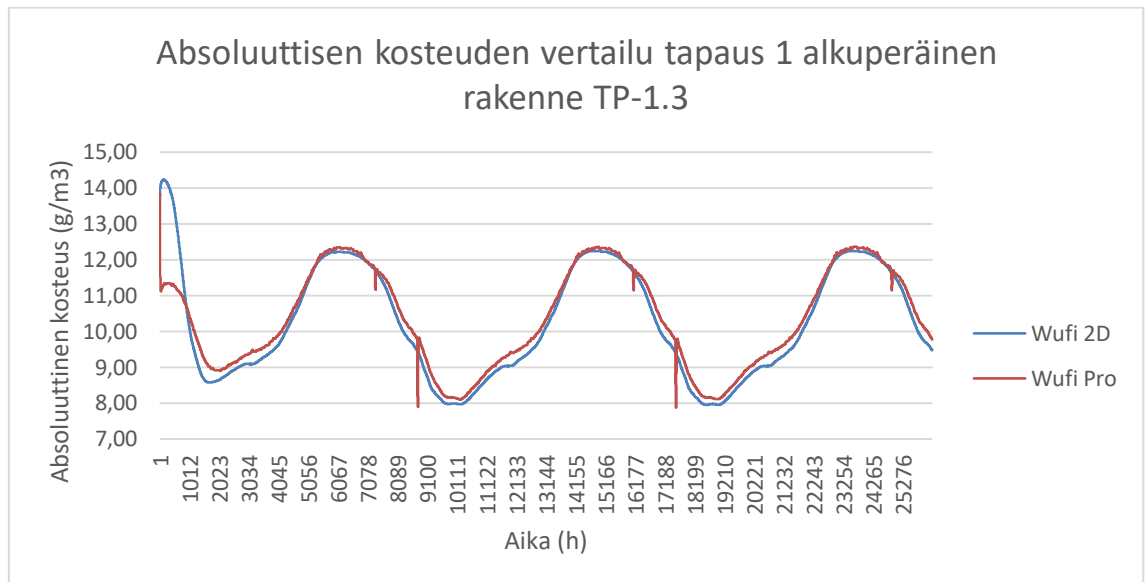


Kuva 16. Tapaus 2 sisäkautta korjattu rakenne

Tässäkin tapauksessa laskennassa käytetään myös 50mm paksua kalsiumsilikaattilevyä. Korjatun rakenteen U-arvo seinän reuna-alueella $0,56 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$ ja seinän sisäalueella $0,39 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$.

4 LASKENTATULOKSET

2D tarkastelussa huomattiin, että Wufi 2D ei toimi oikein maanvastaisia rakenteita tarkastellessa. Rakenteen lämpötila pysyi tasaisesti $+20\text{--}21^\circ\text{C}$, vaikka rakennetta vasten olevan olosuhteen lämpötila oli $+12\text{--}15^\circ\text{C}$. Wufi 2D ja Wufi Pro:n absoluuttisia kosteuksia tarkasteltiin samassa tarkastelupisteessä, jotta pystyttiin todentamaan toimiko 2D simuloinnin kosteuslaskenta vaikka lämpötila ei olekaan oikea. Tarkastelun perusteella voidaan todeta, että 1D ja 2D laskennan kosteuspitoisuudet ovat lähes samanlaisia. Tarkastelun alussa absoluuttisten kosteuksien välillä on melko suuri erotus, joka johtuu laskennan alkuolosuhteesta. Alkuolosuhde pääsee tasoittumaan 1D laskennassa 2D laskentaa nopeammin, koska 2D laskennassa rakenne on huomattavasti massiivisempi ja rakenne kuivuu hitaammin.



Kuva 17. Wufi 2D ja Wufi Pro laskennan absoluuttiset kosteudet. Absoluuttisen kosteuden laskenta on tehty kaavan 1 mukaisesti.

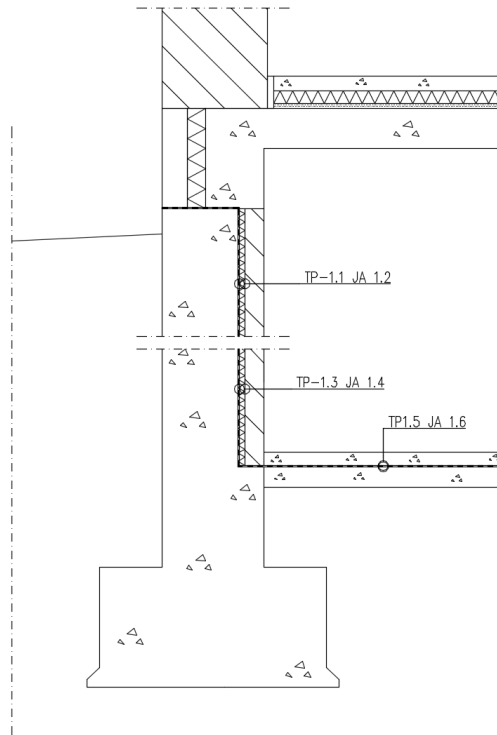
Tämän vuoksi tarkasteluissa tyydyttiin ainoastaan 1D tarkastelun tuloksiin. 1D mallit tehtiin kellarin seinän maanvastaisen osan reuna- ja sisäalueesta. Lisäksi alapohjasta tehtiin oma malli.

Tarkastelupisteiden suhteelliset kosteudet ja lämpötilat ovat esitetty liitteessä 2.

4.1 Tapaus 1

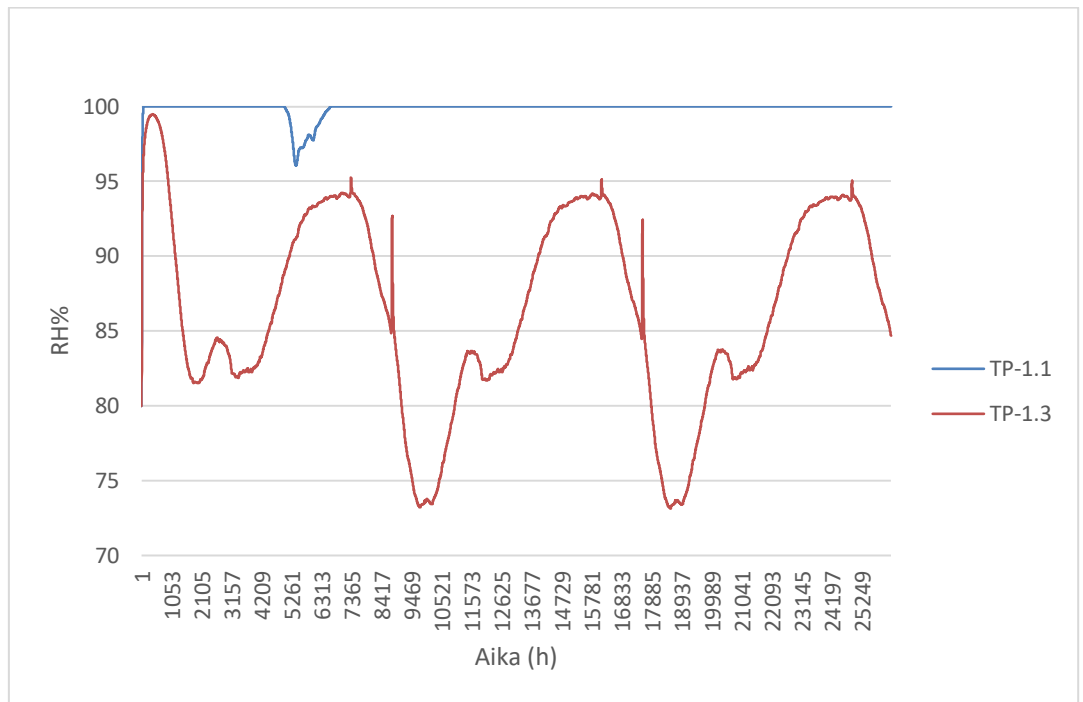
4.1.1 Alkuperäinen rakenne

1D tarkastelussa kellarin seinän tarkastelupisteet valittiin bitumisivelyn ja vuorivillan rajapintaan, sekä vuorivillan ja tiilimuurauksen rajapintaan. Alapohjassa tarkastelupisteet valittiin bitumisivelyn molemmiin puoliin.



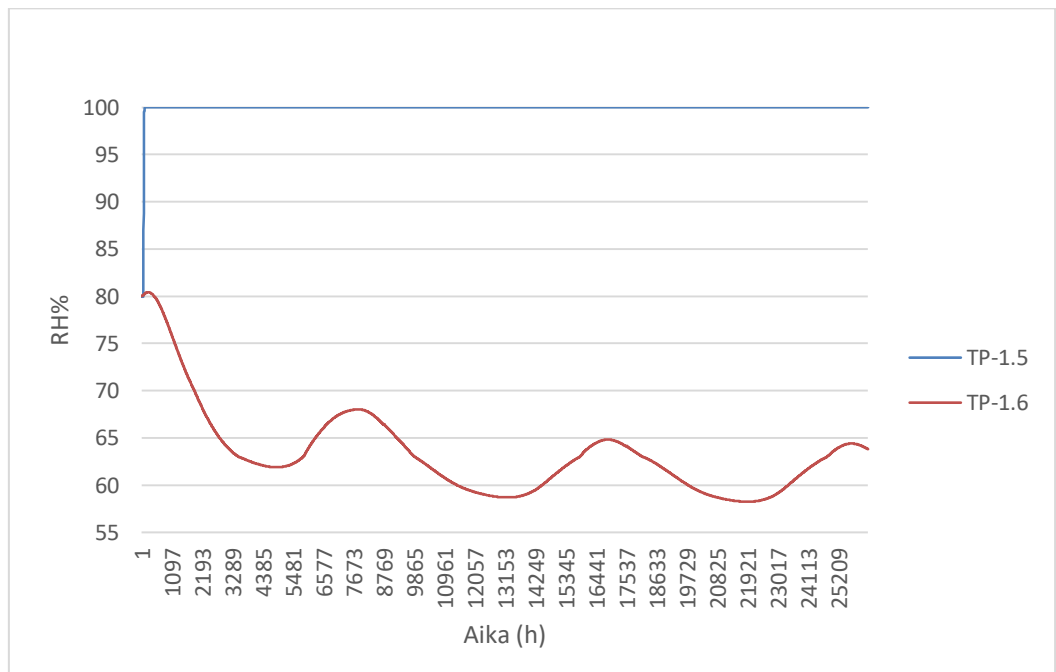
Kuva 18. Alkuperäinen rakenne tarkastelupisteet

Alkuperäisen seinärakenteen kriittisin piste on bitumisivelyn sisäpinta kellarin reuna-alueella tarkastelupisteessä 1.1. Kosteus pääsee kondensoitumaan kosteuden sulun pintaan. Kellarin seinän sisäalueella kosteus ei pääse kondensoitumaan bitumisivelyn pintaan, koska maan lämpötila on korkeampi sisäalueella. Kosteusolosuhteet ovat kuitenkin rankemmat, kuin laskennassa saadut arvot, koska ylemmänä kondensoitunut vesi valuu seinän alempiin osiin bitumisivelyn pinnassa. Vuorivillan ja tiilimuurauksen pinnassa lämpötilan ollessa korkeampi rakenteen suhteelliset kosteudet ovat huomattavasti pienemmät, kuin kosteuden sulun pinnassa.



Kuva 19. Kellarin seinän suhteellisen kosteuden vaihtelu tarkastelupisteissä 1.1 ja 1.3. Lämpötilat liikkuvat tarkastelupisteessä 1.1 välillä 6°C-18°C. Tarkastelupisteessä 1.3 välillä 12°C-15°C.

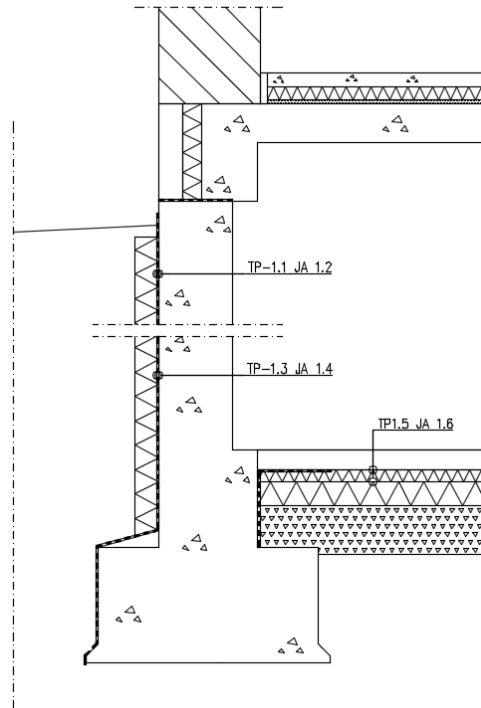
Alapohjassa pohjalaatan suhteellinen kosteus on vakio 100%. Bitumisive-
lyn sisäpuolella rakenteen suhteellinen kosteus pysyy maltillisena.



Kuva 20. Suhteellisen kosteuden vaihtelu tarkastelupisteissä 1.5 ja 1.6. Lämpötilat tarkastelupisteissä on noin 19°C.

4.1.2 Ulkokautta korjattu rakenne

Tarkastelupisteet valittiin kellarin seinän kosteudeneristeen sisä- ja ulkopintaan. Alapohjassa tarkastelupisteet valittiin betonilaatan ja eristeen väliin sekä eristelevyjen väliin.

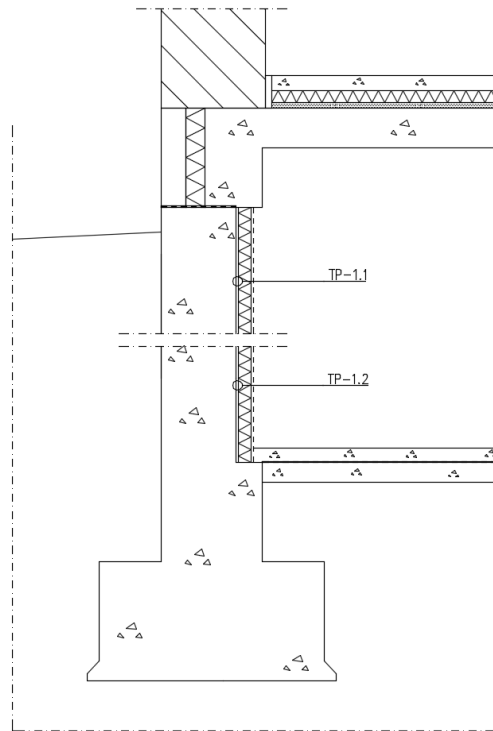


Kuva 21. Ulkokautta korjattu rakenne tarkastelupisteet

Sekä kellarin seinä ja alapohjan suhteellisen kosteuden arvot pysyvät matalina ja kosteuden kondensoitumista ei pääse tapahtumaan. Ulkopuolinen lämmöneriste pitää sisäpuoliset rakenteet lämpiminä, joten suhteelliset kosteudet eivät pääse nousemaan korkeaksi lämmöneristysten sisäpuolella.

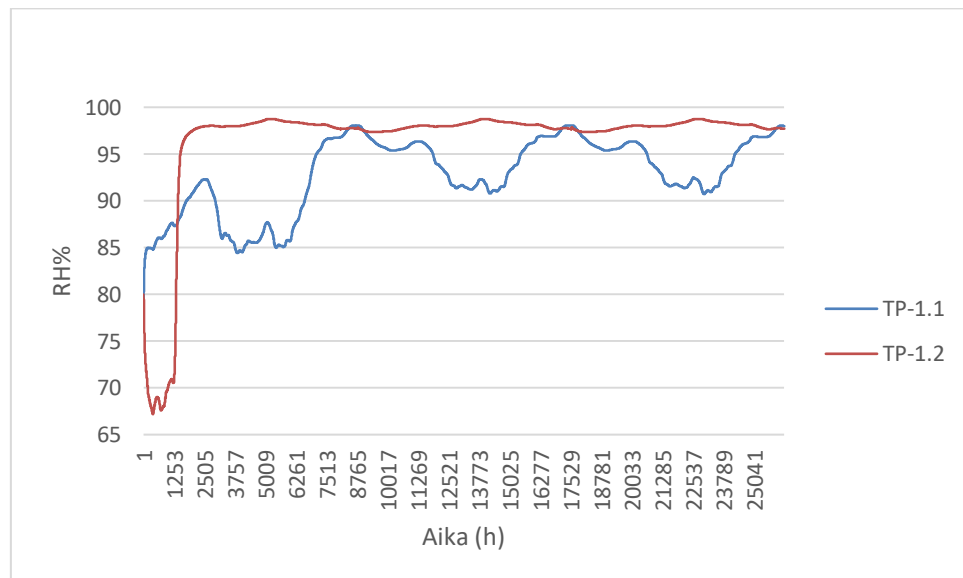
4.1.3 Sisäkautta korjattu rakenne

Rakenteen tarkastelupisteet valittiin betonirakenteen ja kalsiumsilikaattilevyn väliin.



Kuva 22. Sisäkautta korjatun rakenteen tarkastelupisteet

Kalsiumpilikaattilevy ei pysty luovuttamaan kosteutta sisäilmaan tarvittavan nopeasti, jonka vuoksi suhteellinen kosteus nousee korkeaksi tarkastelupisteissä. Kosteus ei pääse kuitenkaan kondensoitumaan rakennekerrosten väliin.

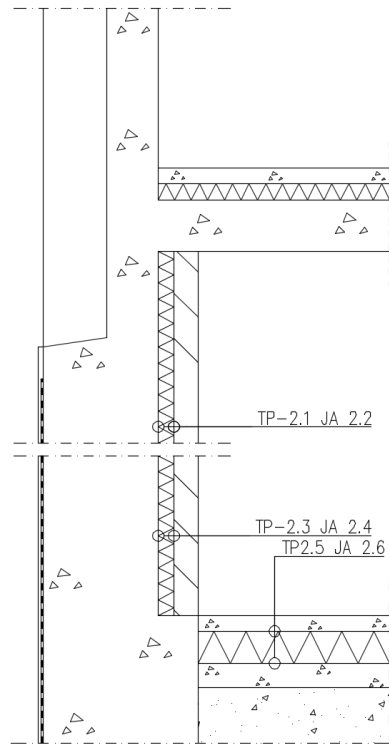


Kuva 23. Kellarin seinän suhteellisten kosteuksien vaihtelu tarkastelupisteissä 1.1 ja 1.2. Lämpötila tarkastelupisteessä 1.1 liikkuu välillä 6°C-18°C. Tarkastelupisteessä 1.2 välillä 12°C-15°C.

4.2 Tapaus 2

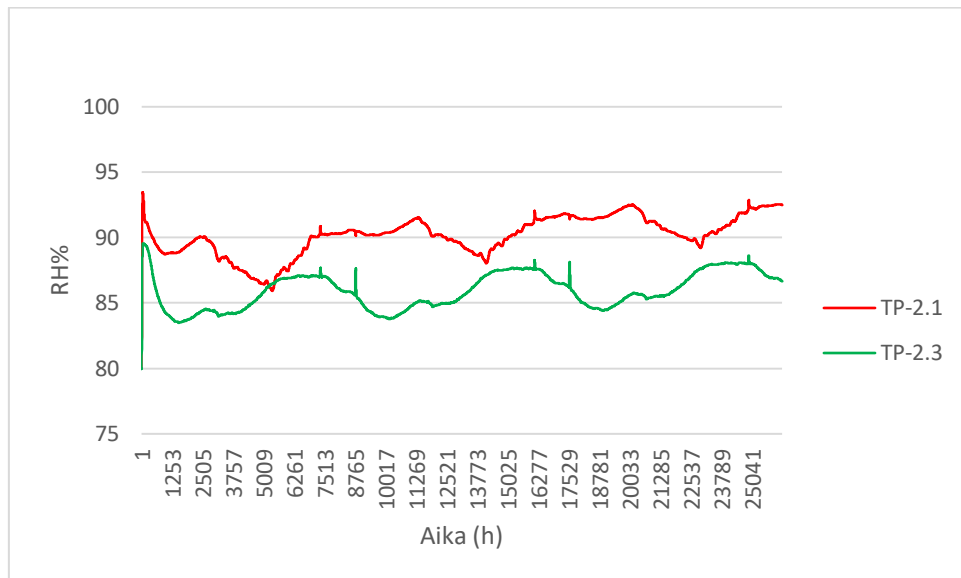
4.2.1 Alkuperäinen rakenne

1D tarkastelun tarkastelupisteet valittiin kellarin seinässä mineraalivillan ulko- ja sisäpintaan. Alapohjassa tarkastelupisteet valittiin lastuvillase-menttilevyn ulko- ja sisäpintaan.



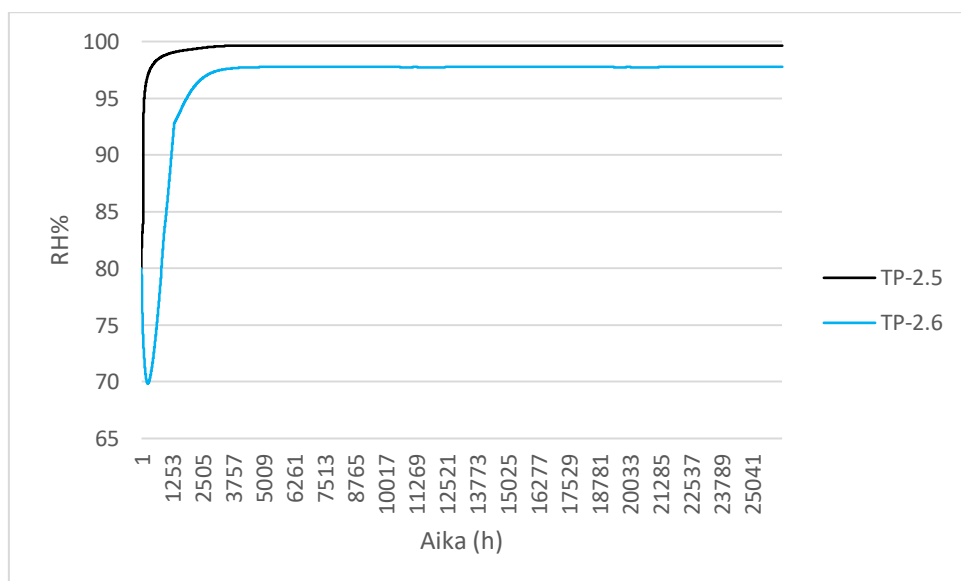
Kuva 24. Alkuperäisen rakenteen tarkastelupisteet

Suhteellinen kosteus nousee korkeimmilleen tapauksen 1 tavoin eristeen ulkopinnassa seinän reuna-alueella. Betoniseinän pintaan ei kuitenkaan pääse kondensoitumaan kosteutta, mutta suhteellinen kosteus pysyy lähes koko simuloinnin ajan yli yhdeksänkymmenen prosentin.



Kuva 25. Suhteellisen kosteuden muutos tarkastelupisteissä 2.1 ja 2.3

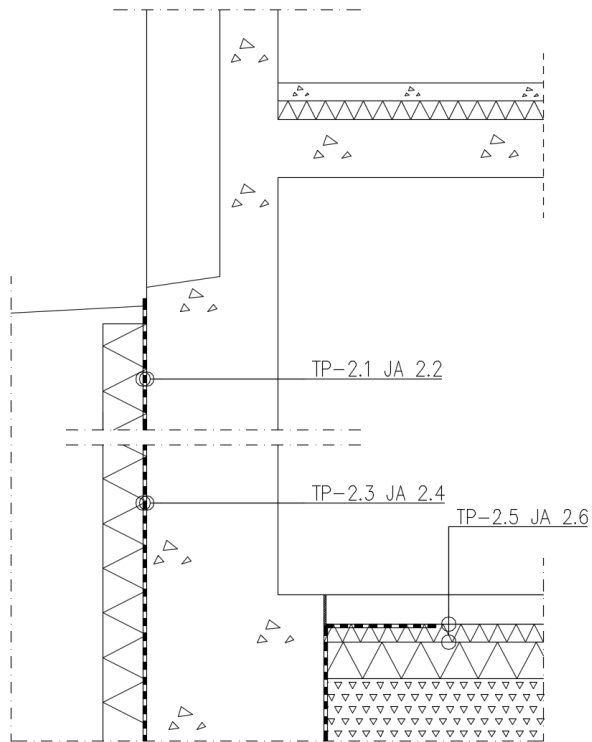
Alapohjan pohjalaatan suhteellinen kosteus nousee RH100 ja pysyy siellä tarkastelujakson loppuun asti. Koska rakenteessa ei ole kosteuden sulkua on lastuvillasementtilevyn yläpinnan kosteus myös korkea.



Kuva 26. Suhteellisen kosteuden kehitys tarkastelupisteissä 2.5 ja 2.6

4.2.2 Ulkokautta korjattu rakenne

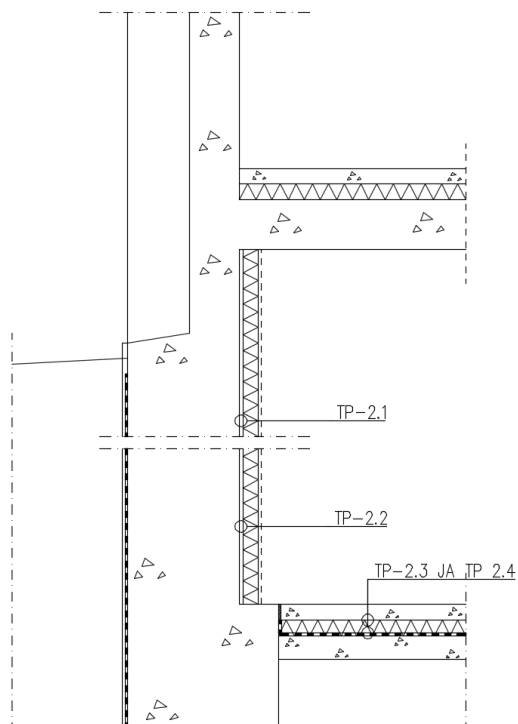
Tarkastelupisteet valittiin tapauksen 1 tavoin kellarin seinässä bitumikermin molemmiin puolin ja alapohjassa betonilaatan ja eristeen väliin sekä eristelevyjien väliin.



Kuva 27. Ulkokauttakorjattu rakenne tarkastelupisteet

Kaikissa tarkastelupisteissä suhteelliset kosteudet pysyvät matalina, koska käännetyssä rakenteessa lämmöneristeen sisäpuoliset rakenteet pysyvät lämpiminä, jonka vuoksi suhteelliset kosteudet pysyvät matalina.

4.2.3 Sisäkautta korjattu rakenne



Kuva 28. Tarkastelupisteet sisäkautta korjatussa rakenteessa.

Tapauksesta 1 poiketen tarkastelupisteissä suhteellinen kosteus ei nouse liian korkeaksi ulkopuolisen vedeneristeen vuoksi. Rakenteeseen ei pääse ulkokautta niin paljoa kosteutta ulkopuolisen bitumisivelyn vuoksi, että kalsiumsilikaattilevy ei ehtisi luovuttaa sitä sisäilmaan.

5 HOMEEN KASVU RAKENTEESSA

Mikrobikasvun alkamisen tärkein tekijä on kosteus. Mikrobit eivät kasva, jos ilman suhteellinen kosteus on alle 30%, kun suhteellinen kosteus nousee yli 70% on mikrobikasvu todennäköinen. Materiaalien kosteudella on kuitenkin suurempi merkitys homeenkasvun kannalta kuin ympäröivän ilmamassan. Kasvustolle suotuisissa olosuhteissa mikrobit voivat kehittyä muutamassa päivässä. Useimmille homeille suotuisat kasvulämpötilat ovat +5°C-35°C.

Mikrobikasvu edellyttää myös, että materiaalissa on mikrobeja, itiöitä tai vanhaa kasvustoa sekä ravinteita. Ravinteiksi mikrobeille kelpaa yleisesti selluloosapitoiset materiaalit, kuten puu, tapetti ja kipsilevyjen kartonki sekä jopa huonepöly. (Sisäilmayhdistys 2008.)

Homeen kasvua rakenteissa voidaan tarkastella laskennallisesti VTT:n ja TTY:n kehittämällä suomalaisella homemallilla (RIL 255-1-2014, 60).

5.1 Suomalainen homemalli

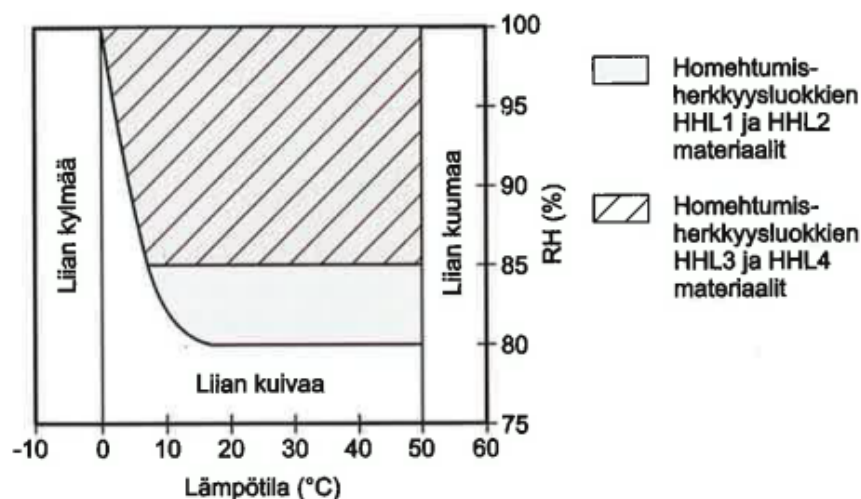
Suomalainen homemalli on VTT:n ja TTY:n yhteistyössä kehittämä laskentataulukko, jolla voidaan tarkastella homeen kasvua laskennallisesti rakenteessa. Suomalainen homemalli pohjautuu VTT:n puumateriaaleille kehitetylle homemallille. Suomalaisen homemallin avulla voidaan arvioida homeen kasvua erilaisten rakennusmateriaalien pinnalla muuttuvissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa ajan funktiona. Suomalainen homemalli on pisimmälle kehitetty homeriskin arviointityökalu maailmassa tällä hetkellä. (Tampereen Teknillinen Yliopisto 2017)

Taulukko 5. Homeindeksin luokitusastot M (Tampereen Teknillinen Yliopisto 2017)

Homeindeksi M	Havaittu homeenkasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma

2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10% tutkittavasta alasta (mikroskoopilla). Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut.
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10% peitto alasta (silmillä) Alle 50% peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10% peitto alasta (silmillä) Yli 50% peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50% peitto alasta (silmällä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100% peitto, tiivis kasvusto

Suomalaisessa homemallissa käytetään vertailusuurena Homeindeksiä M, joka kuvaa rakennusmateriaalin homehtumista. Homeindeksin arvot vaihtelevat 0-6 välillä, arvot kuvaavat homeen määrän kasvua rakennusmateriaalin pinnalla. Taulukossa 5 on esitelty homeindeksin luokitusastot. Homeindeksi ei ota kantaa kasvaako materiaalien pinnoilla ihmisten terveydelle haitallisia homeita vaan se kertoo ylipäättään homeenkasvua materiaalien pinnoilla. Homeindeksi lasketaan määritettyjen lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvojen perusteella tunnin välein. (RIL 255-1-2014, 60.)



Kuva 29. Homeen kasvun kannalta suotuisat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet eri homehtumisherkkyyssuokissa. (RIL 255-1-2014, 61)

Rakennusmateriaalit ovat jaettu suomalaisessa homemallissa neljään eri homehtumisherkkyyssuokkaan ja neljään homeen taantumaluokkaan. Homehtumisherkkyyssuokat ovat esitetty taulukossa 6 ja homeen taantumaluokka taulukossa 7. (mt.)

Taulukko 6. Rakennusmateriaalien luokittelu eri homehtumisherkkyyssluokkiin (RIL 255-1-2014, 61).

Homehtumisherkkyyssluokka	Rakennusmateriaali
HHL 1 Hyvin herkästi homehtuva	Karkeasahattu mänty ja kuusi, mitallistettu mänty
HHL 2 Herkästi homehtuva	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puu-pohjaiset levyt, kipsilevy
HHL 3 Kohtalaisen kestävä	Mineraalivilla, muovipohjaiset materiaalit, tiilet, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut betoni
HHL 4 Kestävä	Lasi ja metallit, alkaalinen uusi betoni, tehokkaita homeen-suoja-aineita sisältävät materiaalit

Taulukko 7. Homehtumisherkkyyssluokkaa tyypillisesti vastaava homeentaantumislukka (RIL 255-1-2014, 62)

Homehtumisherkkyyssluokka	Homeen taantumaluokka
HHL 1 Hyvin herkästi homehtuva	HTL2 Merkittävä taantuma
HHL 2 Herkästi homehtuva	HTL3 Kohtalainen taantuma
HHL 3 Kohtalaisen kestävä	HTL4 Vähäinen taantuma
HHL 4 Kestävä	HTL4 Vähäinen taantuma

Materiaalien homehtumista pystytään arvioimaan homeen kasvun liikkeelle lähdön, homehtumisen maksimitason ja homeen taantumisen avulla. Niissä materiaaleissa, joissa homeenkasvu on nopeaa, on myös homeen maksimimäärä suuri ja myös taantuma tapahtuu nopeasti olosuhteiden muuttuessa epäedullisiksi. (RIL 255-1-2014, 61.)

Homeindeksin raja-arvo on valittava siten, että eristekerroksissa ja kantavissa rakenteissa ei saa kasvaa hometta, eli homeindeksin on oltava $M < 1$. Ulkoilmaan rajoittuvissa pinnoissa homeenkasvu pääsee tapahtumaan etenkin homehtumisherkkyyssluokassa 1, joka on hyväksyttävä Suomen ilmastossa. Sisäpinnan läheisyydessä homeenkasvu ei ole sallittua missään tapauksessa. (mt., 64.)

Korjausrakentamisessa kriittinen raja-arvo tulee aina arvioida tapauskohtaisesti. Kohteen korjattavat rakenneratkaisut eivät aina mahdollista selaista korjaustapaa, jonka homeindeksin arvot ovat $M > 1$. Näissä tilanteissa korjauksen tulee pienentää homehtumisriskiä. Lisäksi rakenteen tiiveyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota, jotta rakenteen sisäilmaan ei pääse epäpuhtauksia.

5.2 Tapaus 1

5.2.1 Alkuperäinen rakenne

Tarkastelupisteessä TP-1.1 kosteus kondensoituu jatkuvasti rakenteen pintaan, jonka vuoksi homeenkasvu on runsasta. Tarkastelupisteessä 1.3 on homeenkasvu myös todennäköistä, vaikka simulointien perusteella homeenkasvua ei tarkastelupisteessä pääse tapahtumaan, koska kondensoitunut vesi valuu seinää pitkin seinän alaosiin.

Tapauksen 1 kellarin seinärakennetta voidaan pitää todella riskialttiina rakenteena. Betonirakenteen sisäpuoliset rakennekerrokset on purettava korjausten yhteydessä. Laskennassa on oletettu, että kosteuden sulku on ehjä. Kovan kosteusrasituksen vuoksi bitumisively on voinut irrota kalkin ja suolojen vuoksi. Tämä heikentää rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa huomattavasti, joka voi aiheuttaa homeen kasvua kaikilla korkeuksilla maanvastaisessa seinässä.

Alapohjassa homeenkasvua ei pääse tapahtumaan bitumisivelyn sisäpuolella. Alapohjarakenne ei ole rakennusfysikaalisesti riskirakenne, mutta rakenteen lämmöneristävyys on heikko. Rakenteen lämmöneristävyyttä voidaan parantaa korjausten yhteydessä, mutta se ei ole määräysten vaatimaa. Alapohjan lämmöneristämisen hyötyjä on pohdittava tarkkaan, sillä uusiva alapohjakorjaus on kallis toimenpide ja se parantaa melko vähän rakenteen energiatehokkuutta.

Taulukko 8. Homeindeksit tarkastelupisteissä

Tarkastelupiste	Materiaalit rajapinnassa	HHL	HTL	Homeindeksi
TP-1.1	bitumi + vuorivilla	3	4	3,5
TP-1.2	vuorivilla + tiili	3	4	0,006
TP-1.3	bitumi + vuorivilla	3	4	0,446
TP-1.4	vuorivilla + tiili	3	4	0
TP-1.6	bitumi + betoni	3	4	0

5.2.2 Ulkokautta korjattu rakenne

Ulkokautta korjattu kellarin seinä on rakennusfysikaalisesti varma ratkaisu rakenteen toiminnan kannalta. Seinärakenteessa homeenkasvua ei pääse

tapahtumaan lämmöneristeen sisäpuolella. Alapuolelta eristetty alapohja on myös rakennusfysikaalisesti varma ratkaisu, jossa homeenkasvua ei pääse tapahtumaan.

Taulukko 9. Homeindeksit tarkastelupisteissä

Tarkastelupiste	Materiaalit rajapinnassa	HHL	HTL	Homeindeksi
TP-1.1	EPS + bitumikermi	3	4	0
TP-1.2	bitumikermi + betoni	3	4	0
TP-1.3	EPS + bitumikermi	3	4	0
TP-1.4	bitumikermi + betoni	3	4	0
TP-1.5	EPS + EPS	3	4	0
TP-1.6	EPS + betoni	3	4	0

5.2.3 Sisäkautta korjattu rakenne

Rakenteessa pääsee syntymään homekasvustoa molemmissa tarkastelupisteissä. Sisäpuolinen lämmöneristys kellarin seinässä on riskirakenne.

Taulukko 10. Homeindeksit tarkastelupisteissä

Tarkastelupiste	Materiaalit rajapinnassa	HHL	HTL	Homeindeksi
TP-1.1	betoni + CaSi	3	4	2.469
TP-1.2	betoni + CaSi	3	4	3.283

5.3 Tapaus 2

5.3.1 Alkuperäinen rakenne

Seinän reuna-alueella tarkastelupisteessä 2.1 pääsee alkavaa homeenkasvua tapahtumaan. Kellarin seinärakenteessa ei pääse tapahtumaan muualla homeen kasvua simuloinnin perusteella. Seinärakenne luokitellaan riskialttiiksi, koska rakenteessa pääsee syntymään homeenkasvua. Kuten tapauksessa 1 tapauksen 2 bitumisively on oletettu ehjäksi. Jos kosteudeneristys on kuitenkin rikkoutunut tai irronnut alustastaan on rakenteen toiminta huomattavasti heikompi, kuin simuloinnissa.

Alapohjassa homeen kasvua pääse tapahtumaan lastusementtilevyn kummallakin pinnalla, koska rakenteessa ei ole kosteudensulkua. Alapohjarakenteesta voidaan todeta, että se on erittäin riskirakenne.

Taulukko 11. Homeindeksit tarkastelupisteissä

Tarkastelupiste	Materiaalit rajapinnassa	HHL	HTL	Homeindeksi
TP-2.1	betoni + mineraalivilla	3	4	1,359

TP-2.2	mineraalivilla + tiili	3	4	0
TP-2.3	betoni + mineraalivilla	3	4	0,208
TP-2.4	mineraalivilla + tiili	3	4	0
TP-2.5	betoni + lastusementtilevy	3	4	3,465
TP-2.6	lastusementtilevy + betoni	3	4	3,258

5.3.2 Ulkokautta korjattu rakenne

Lämmöneristeen sisäpuolella ei pääse simuloinnin perustella kasvamaan homeetta. Kuten tapauksessa 1 voidaan tapauksessa 2 todeta, että kellarin seinän ulkopuolinen lämmön ja kosteuden eristys ja alapohjan alapuolinen lämmöneristys on varma ratkaisu.

Taulukko 12. Homeindeksit tarkastelupisteissä

Tarkastelupiste	Materiaalit rajapinnassa	HHL	HTL	Homeindeksi
TP-1.1	EPS + bitumikermi	3	4	0
TP-1.2	bitumikermi + betoni	3	4	0
TP-1.3	EPS + bitumikermi	3	4	0
TP-1.4	bitumikermi + betoni	3	4	0
TP-1.5	EPS + EPS	3	4	0
TP-1.6	EPS + betoni	3	4	0

5.3.3 Sisäkautta korjattu rakenne

Ulkopuolinen vedeneristys vähentää seinärakenteen kosteusrasitusta, joten rakenteessa ei pääse tapahtumaan homeenkasvua. Sisäkautta korjattu alapohja voidaan myös todeta toimivaksi rakenteeksi, sillä homeindeksi on alle 1. Homeindeksin maksimiarvo on noin puolentoista vuoden kuluttua laskennan aloituksesta. Homeindeksin arvo laskee nolleen ja pysyy siellä kahden vuoden kohdalla simuloinnin alusta. Homemallin laskenta tulokset on esitelty liitteessä 2.

Taulukko 13. Homeindeksit tarkastelupisteissä

Tarkastelupiste	Materiaalit rajapinnassa	HHL	HTL	Homeindeksi
TP-1.1	betoni + CaSi	3	4	0,307
TP-1.2	betoni + CaSi	3	4	0,076
TP-1.3	epoksi + XPS	3	4	0,918

6 JOHTOPÄÄTÖKSET/TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

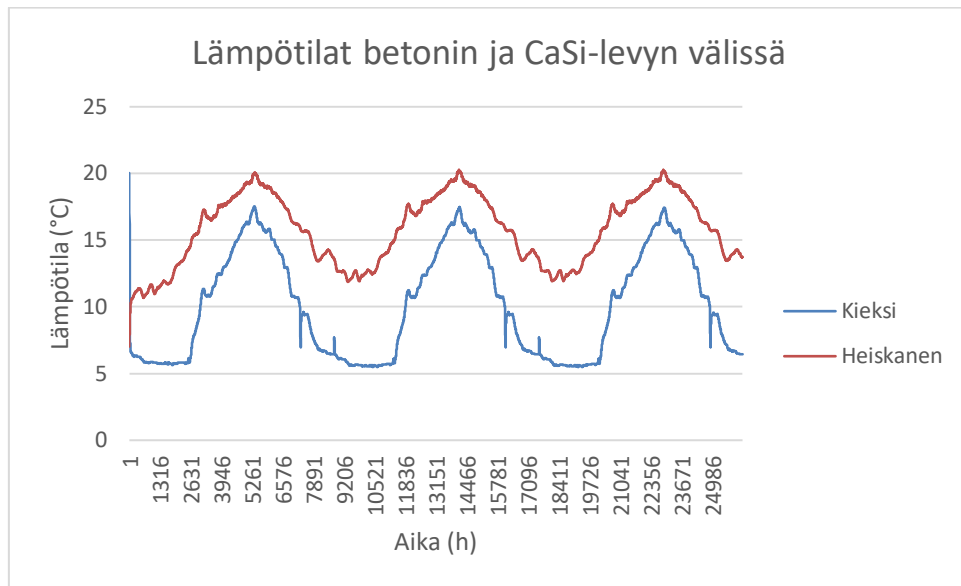
Rakennusfysikaalisen tarkastelun perusteella olemassa olevat seinärakenteet ovat riskirakenteita. Rakenteiden sisäpuolella pääsee kasvamaan homekasvustoa, josta epäpuhtauksia pääsee kulkeutumaan sisäilmaan. Olemassa olevat sisäpuoliset lämmöneristeet pitää purkaa toimivan rakenteen saavuttamiseksi. Lisäksi sisäpuoliset kosteuden eristeet on purettava, sillä ne sisältävät todennäköisesti haitta-aineita.

Tapauksen 1 alapohja on kosteusteknisesti toimiva, mutta rakenteen lämmönvastus on olematon. Lisäksi betonilaattojen välissä on kosteudeneristys, joka sisältää mahdollisesti haitta-aineita. Haitta-aineita on mahdollisesti imeytynyt betonilaattaan, jonka vuoksi betonilaatan purkaminen on suositeltavaa. Betonilaatan purkamisen yhteydessä alapohjarakenne on suositeltava korjata nykysuositusten mukaisesti ulkopuolisella lämmöneristyksellä. Tapauksen 2 alapohja ei ole sen sijaan rakennusfysikaalisesti toimiva ratkaisu. Maanvastainen alapohja on suositeltava purkaa kokonaisuudessaan. Kaksoislaattarakennetta tai pohjalaatan päältä puukoolattua rakennetta ei suositella käytettäväksi ilman salaojitussoraa ja mahdollisia ulkopuolisia lämmöneristeitä.

Maanvastaisten seinärakenteiden suositeltava korjaustapa on ulkopuolinen kosteuden- ja lämmöneristys. Laskenta suoritettiin 100mm EPS-eristeellä, mutta rakenne voidaan todeta myös toimivaksi XPS-eristeillä. Myös eristepaksuutta voidaan kasvattaa kellarin seinässä, koska eristeen sisäpuolinen rakenne pysyy entistä lämpimämpänä, mikä laskee rakenteen suhteellisen kosteuden arvoja.

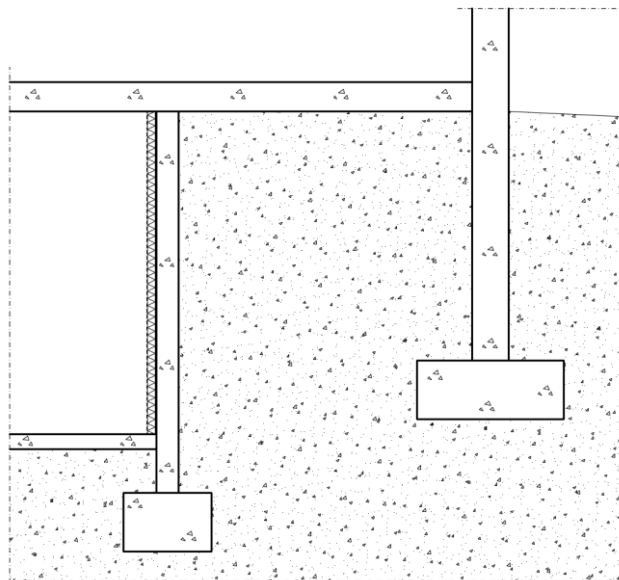
Ulkopuolisen lämmön- ja kosteudeneristyksen ollessa mahdotonta, tai jos halutaan tehdä kevyempi korjaus, voidaan korjaus tehdä sisäkautta. Rakennetta, jossa on ei ole ulkopuolista kosteudeneristystä ei suositella käytettäväksi sisäpuolista lämmöneristystä. Tapauksessa 2 rakenteessa on ulkopuolinen vedeneristys ja sen vuoksi rakenne toimii sisäpuolisella lämmöneristyksellä.

Heiskasen (2016) mukaan sisäpuolelta kalsiumsilikaattilevyllä eristetty maanvastainen kellarinseinä ilman ulkopuolista kosteudeneristystä on toimiva ratkaisu. Rakenteessa ei pääse kasvamaan homeita Heiskasen mukaan toisin kuin tämän opinnäytetyön tarkasteluissa. Tarkastellessa Heiskasen ja tämän opinnäytetyön laskennan eroja huomataan, että Heiskasen diplomityössä rakenteen lämpötila on huomattavasti korkeampi, kuin tässä opinnäytetyössä. Tästä voidaan todeta, että tämän opinnäytetyön ulkoilman olosuhde on varmemmalla puolella, kuin Heiskasen vaikka absoluuttinen kosteus on korkeampi, niin korkeampi lämpötila alentaa suhteellisen kosteuden arvoa.



Kuva 30. Lämpötilojen vertailu Kieksi/Heiskanen. Tapaus 1 sisäpuolinen korjaus TP-1.1 ja Heiskasen TP-2.

Sisäpuolista lämmöneristystä voidaan käyttää rakenteissa, joissa voidaan todeta, että rakenteiden lämpötila on riittävä. Tämänkaltaisia rakenteita ovat esimerkiksi ulkoseinälinjan sisäpuolella olevat maanvastaiset seinärakenteet.



Kuva 31. Esimerkkitapaus sisäpuolisen lämmöneristysten käyttökohde.

Wufi 2D-laskennan ongelmien vuoksi kaikkia haluttuja korjaustapoja ei voitu tarkastella. Tavoitteena oli tarkastella esimerkiksi miten korjaamaton alapohjarakenne vaikuttaa korjatun seinärakenteen toimintaan tai päinvastoin.

LÄHTEET

Aronen, H. (2018). *Kapselointikorjauksen rakennusfysikaalinen toimivuus*. YAMK Opinnäytetyö. Rakennustekniikka. Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 2.3.2018, julkaisematon opinnäytetyö.

Björkholtz, D. (2004). *Lämpö ja kosteus. Rakennusfysiikka*. 3. painos. Helsinki. Rakennustieto Oy

Heiskanen, R. (2016). *Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lämmöneristämisen*. Diplomityö. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 2.5.2018 osoitteesta <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24185/Heiskanen.pdf?sequence=1>

Kerrostalot 1880-2000. (2006). *Arkkitehtuuri rakennustekniikka korjaaminen*. Helsinki. Rakennustieto Oy

RIL 107-2012. (2012). *Rakennuksen veden ja kosteudeneristysohjeet*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RIL 255-1-2014. *Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Siikanen, U. (2014). *Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia*. Helsinki. Rakennustieto Oy

Sisäilmayhdistys ry – Puolueetonta tietoa sisäilmasta (2008). Mikrobikasvun edellytykset. Haettu 5.3.2018 osoitteesta <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>

Sosiaali- ja terveysministeriö. (2003). *Asumisterveysohje*. Haettu 5.3.2018 osoitteesta https://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje_pdf.pdf

Tampereen teknillinen yliopisto (2017). *Suomalainen homemalli*. Haettu 21.2.2018 osoitteesta <http://www.tut.fi/fi/tutkimus/tutkimusalat/rakennustekniikka/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/suomalainen-home-malli/index.htm>

Vainio, M. (2016). *Kalsiumsilikaattilevyjen ja ontelolaattojen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet*. Diplomityö. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 7.5.2018 osoitteesta <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24482/Vainio.pdf?sequence=1>

Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa A., Palolahti T., 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristysten lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteustekniiksessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 159.

Wufi-Wiki (2008) Rain water absorption factor. Haettu 27.2.2018 osoitteesta <http://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/Details:Rain-WaterAbsorptionFactor>

Wufi-Wiki (2008). What is WUFI? Haettu 2.3.2018 osoitteesta https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/2D:Wufi_2D

Ympäristöministeriö. (2002). C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys ohjeet 2003. Haettu 5.3.2018 osoitteesta <https://www.finlex.fi/data/normit/1931/C4s.pdf>

Ympäristöministeriö (2013). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Haettu 2.3.2018 osoitteesta http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismääräyskokoelma/Energiatehokkuus

RAKENNUSMATERIAALIEN OMINAISUUDET

Kerros	Tiheys (kg/m ³)	Huokoi- suus (m ³ / m ³)	Ominaisläm- pökapasiteetti (J/kgK)	Lämmön- johtavuus (W/mK)	Vesi- höyryndiffu- siokerroin
Betoni VSS=0,6 ¹⁾	2220	0,18	850	1,6	248
Vuorivilla ¹⁾	600	0,95	850	0,04	1,3
Bitumisively ⁴⁾	1000	0,001	1700	0,5	75 000
Lastuvillalevy ¹⁾	165	0,88	1700	0,038	3,3
Tiili ¹⁾	800	0,6	850	0,18	15
Kevytbetoni- lankku ¹⁾	600	0,95	850	0,04	1,3
EPS ¹⁾	30	0,95	1500	0,04	50
XPS Ydin ¹⁾	40	0,95	1500	0,03	100
XPS Pintanahka	40	0,95	1500	0,03	450
Mineraalivilla ¹⁾	600	0,95	850	0,04	1,3
Bitumikermi ⁴⁾	1100	0,001	1500	0,15	30 000
Kalsiumsilikaatti- levy ⁴⁾	236	0,9	830	0,067	2,9

¹⁾ = Wufin oma materiaalikirjasto

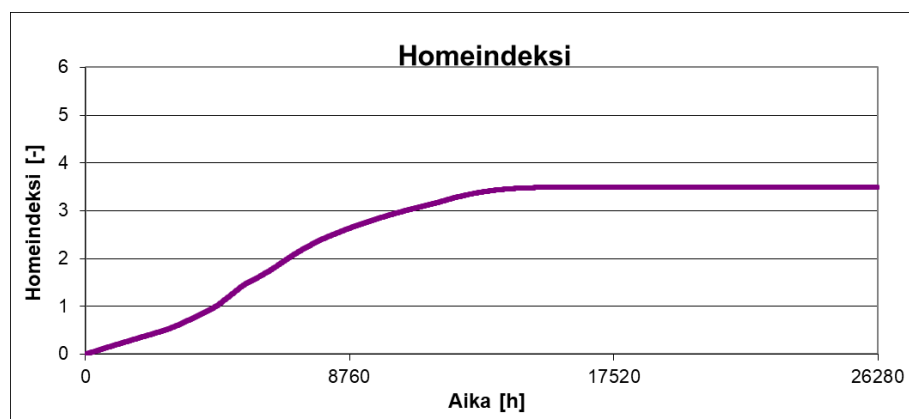
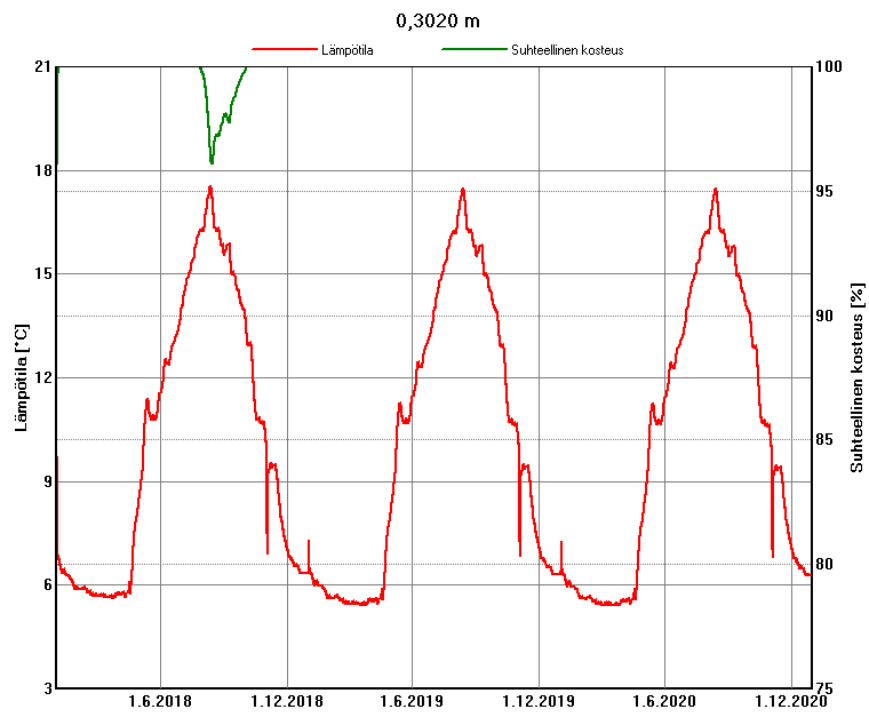
²⁾ = Ilmastomuutoksen ja lämmöneristysten lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa (Tampereen teknilinen yliopisto, Tutkimusraportti 159)

³⁾ = RIL 255-1-2014

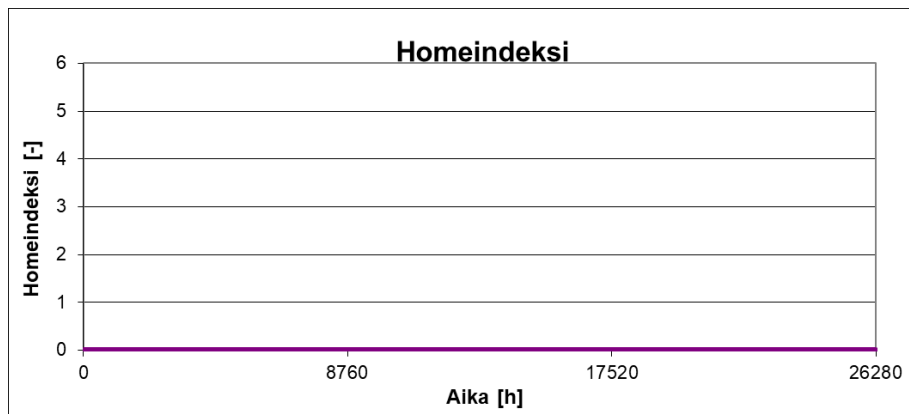
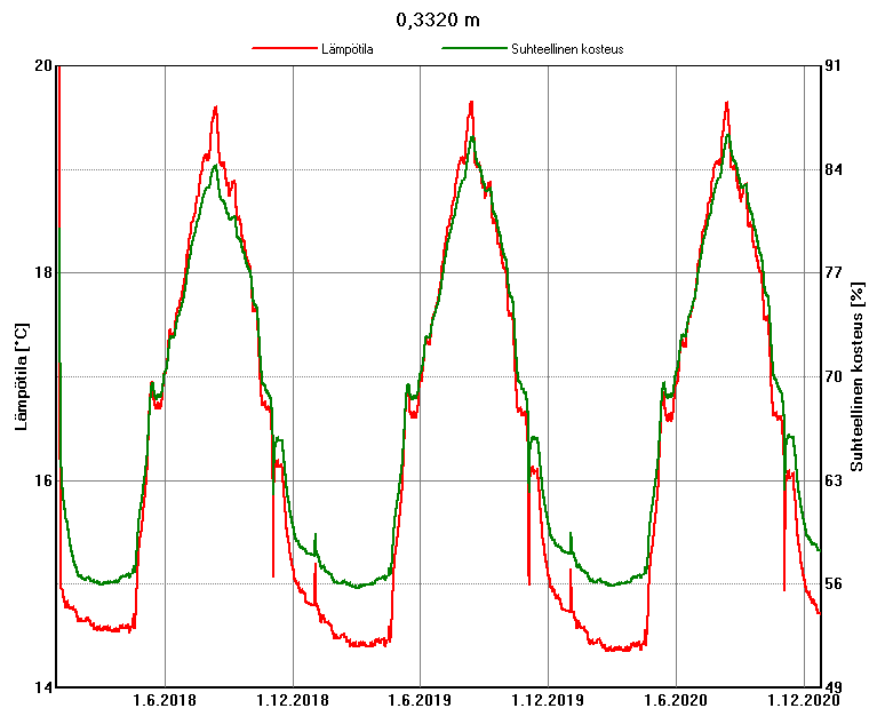
⁴⁾ = Vainio, M. 2016. Kalsiumsilikaattilevyjen ja ontelolaattojen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet.

LASKENTATULOKSET

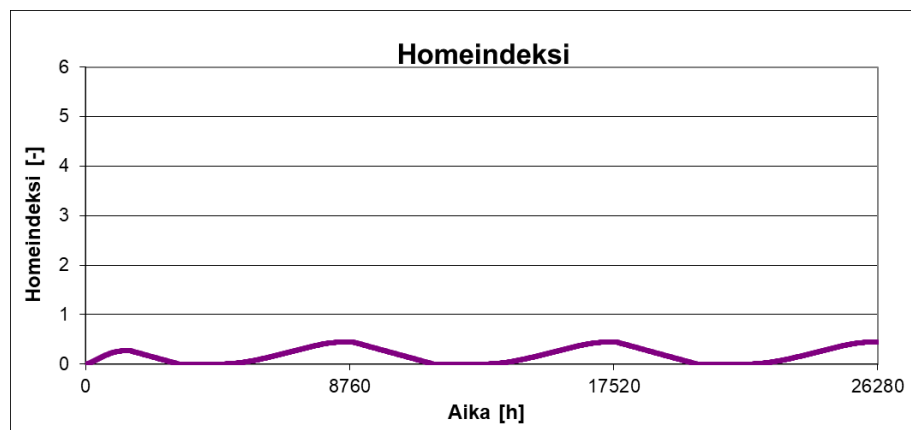
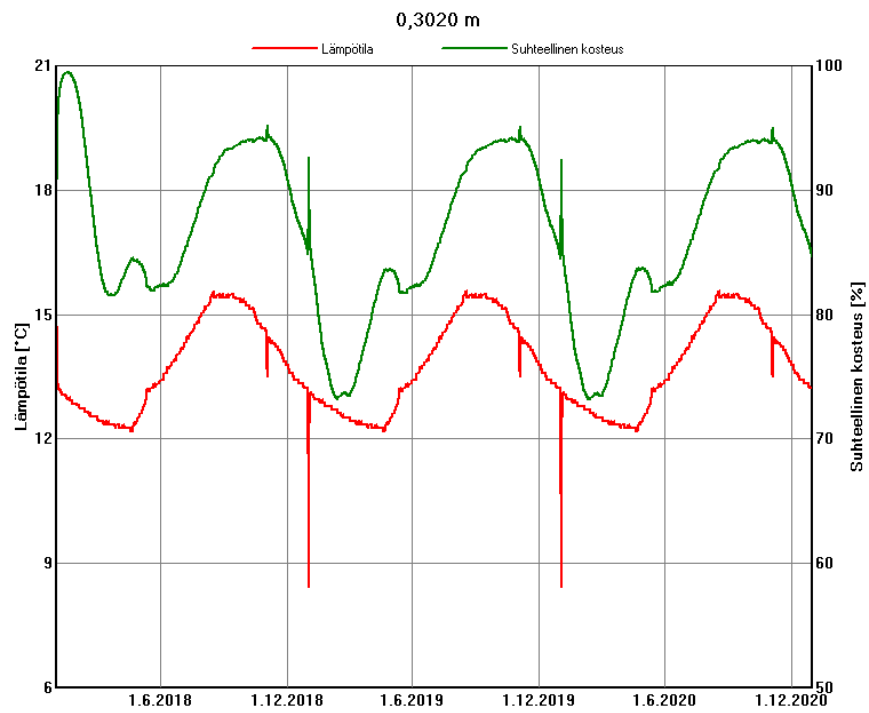
Tapaus 1 alkuperäinen rakenne



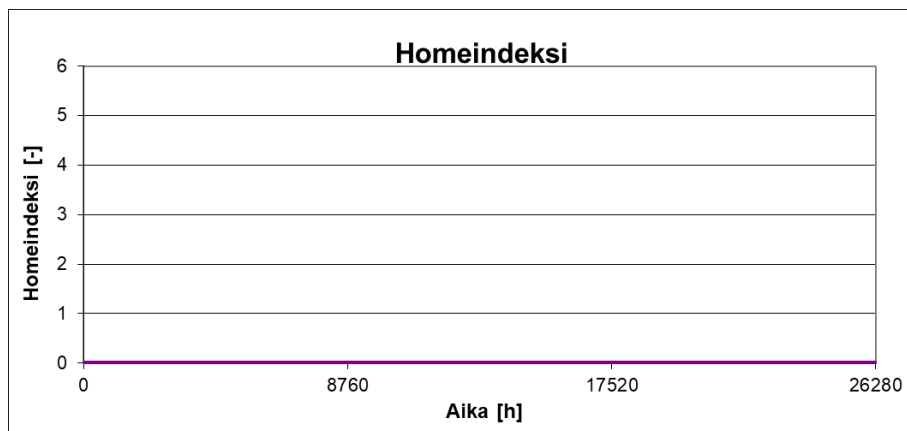
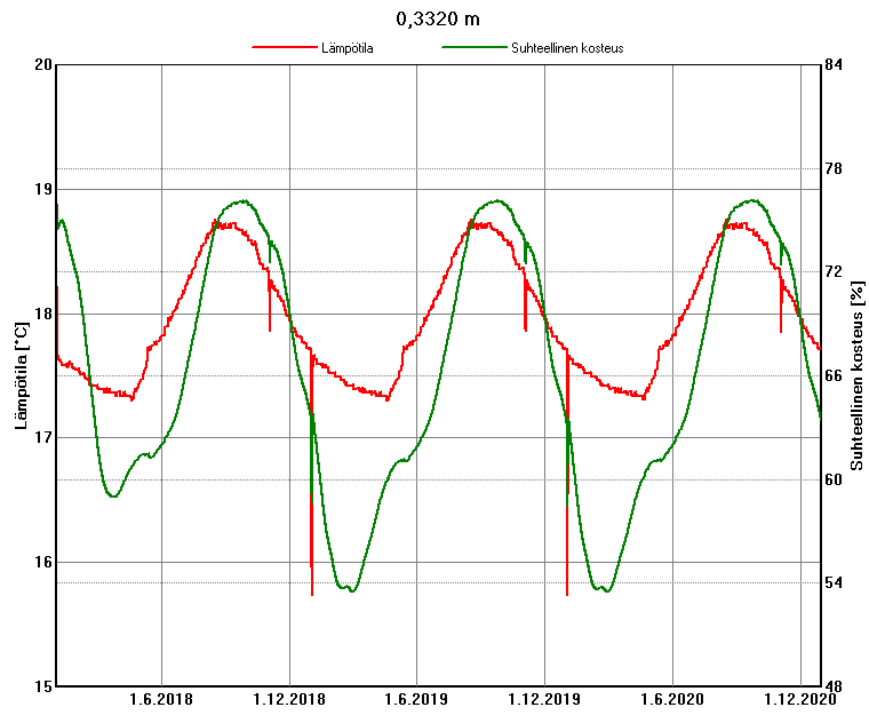
Tarkastelupiste 1.1



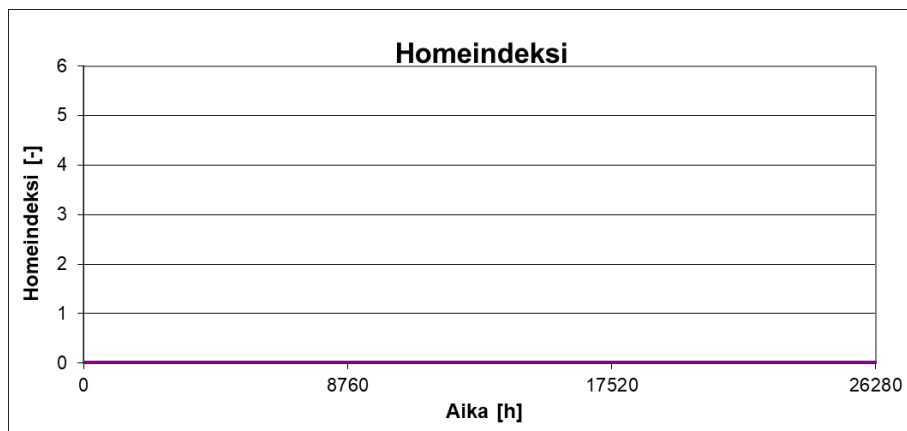
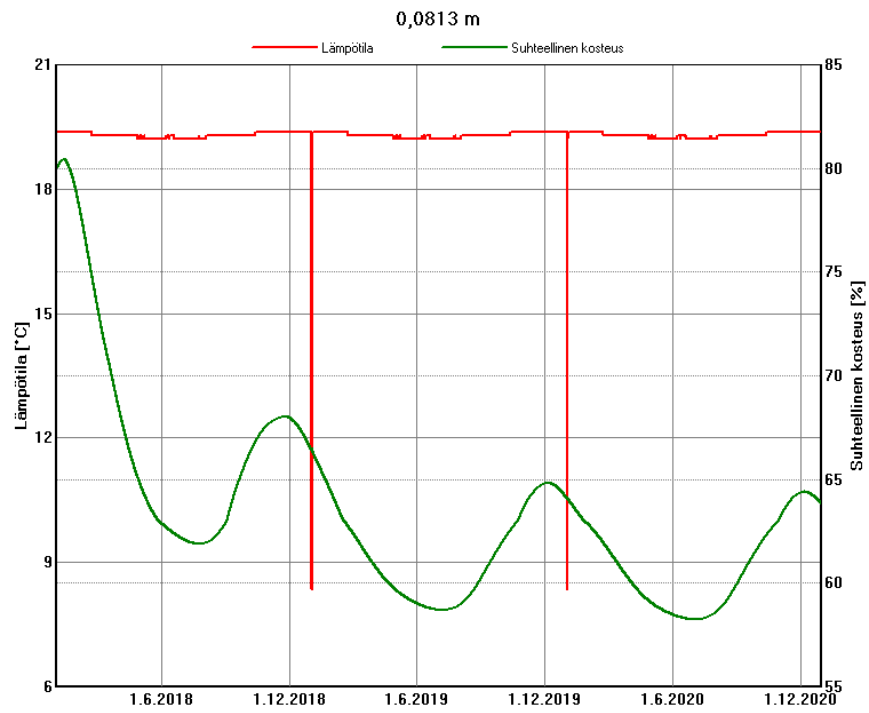
Tarkastelupiste 1.2



Tarkastelupiste 1.3

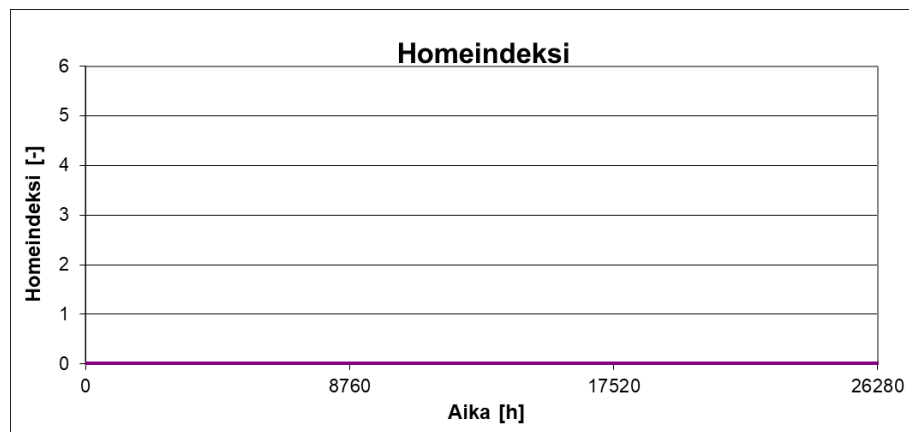
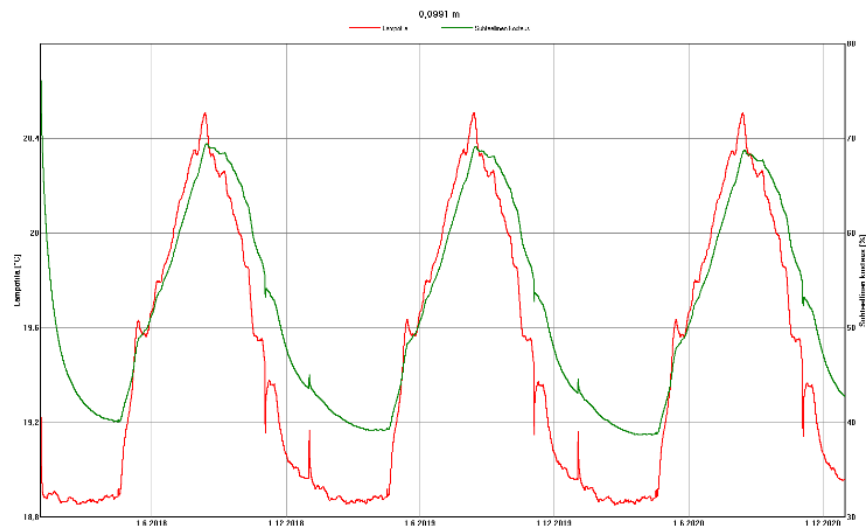


Tarkastelupiste 1.4

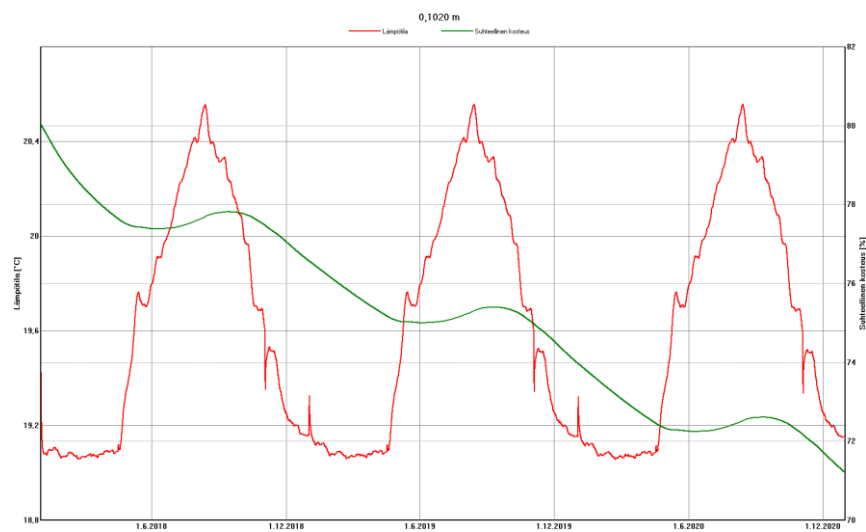


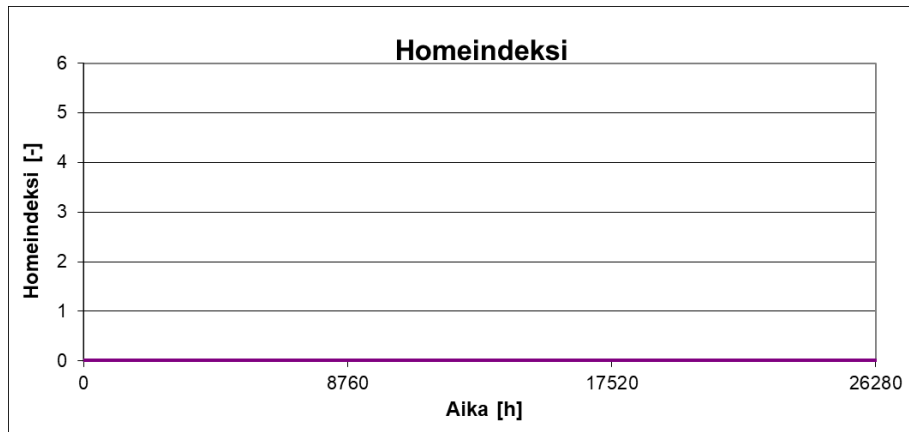
Tarkastelupiste 1.5

Tapaus 1 ulkokautta korjattu rakenne

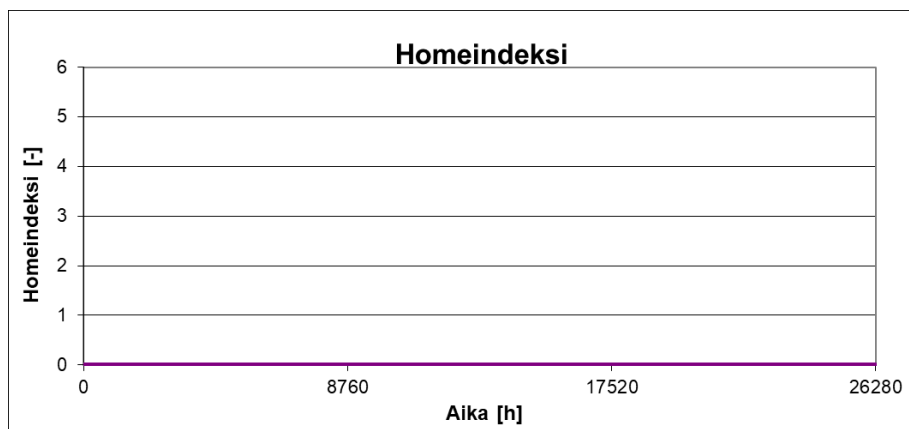
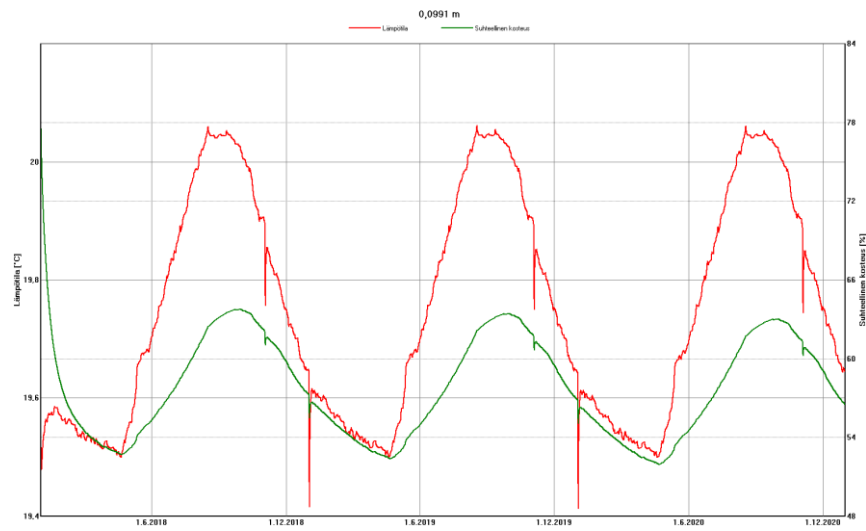


TP-1.1

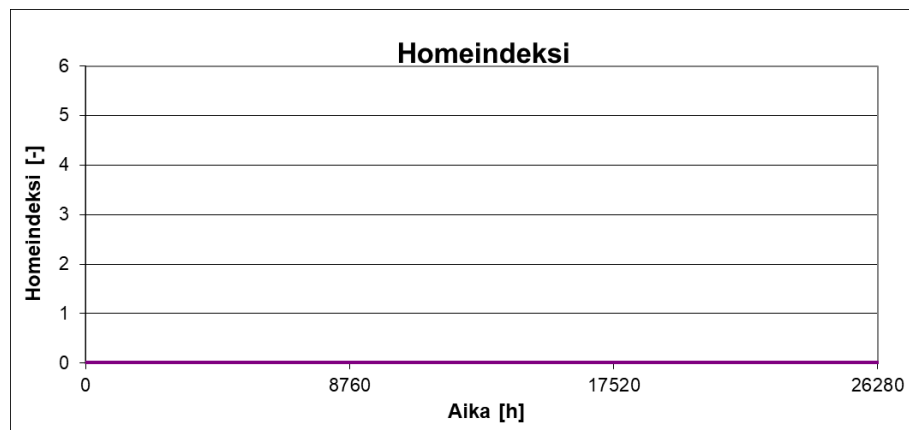
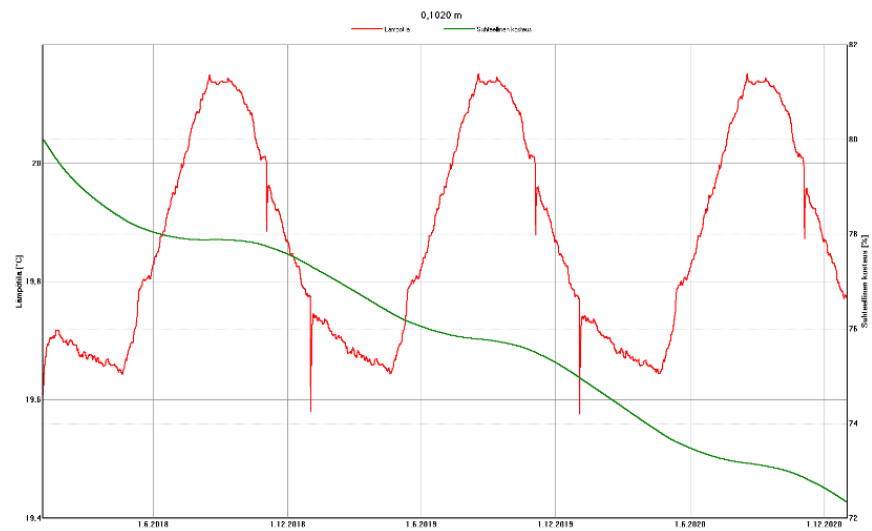




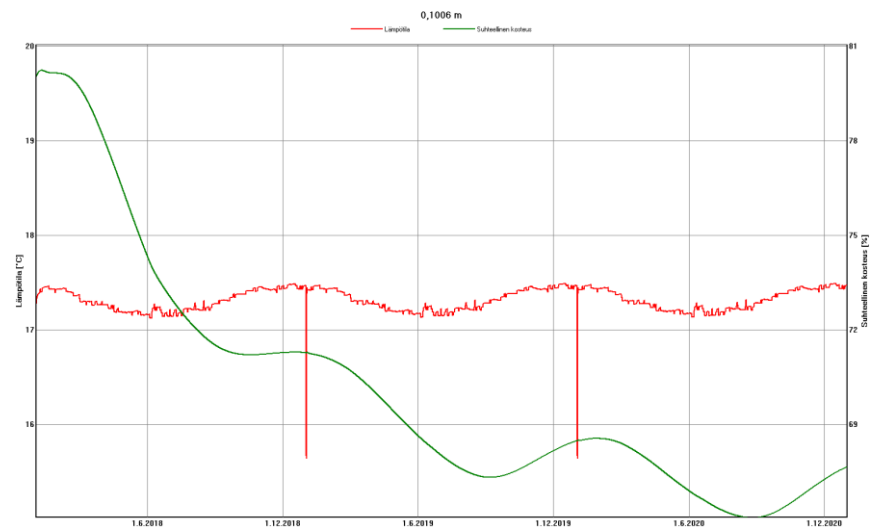
TP-1.2

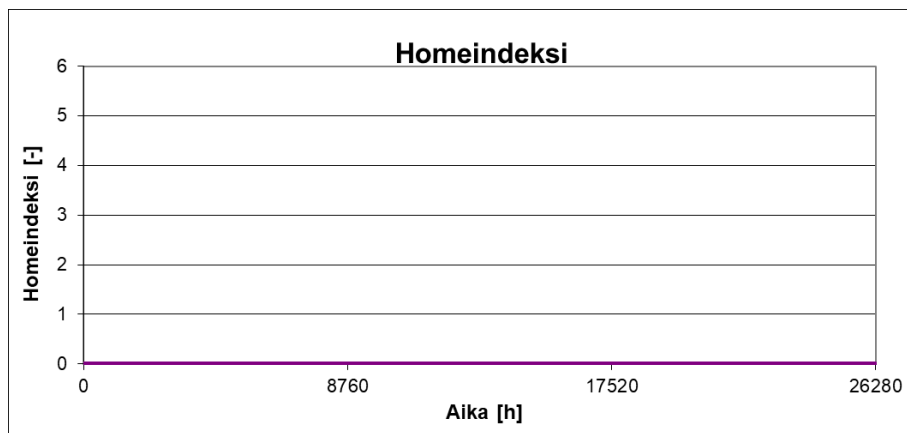


TP-1.3

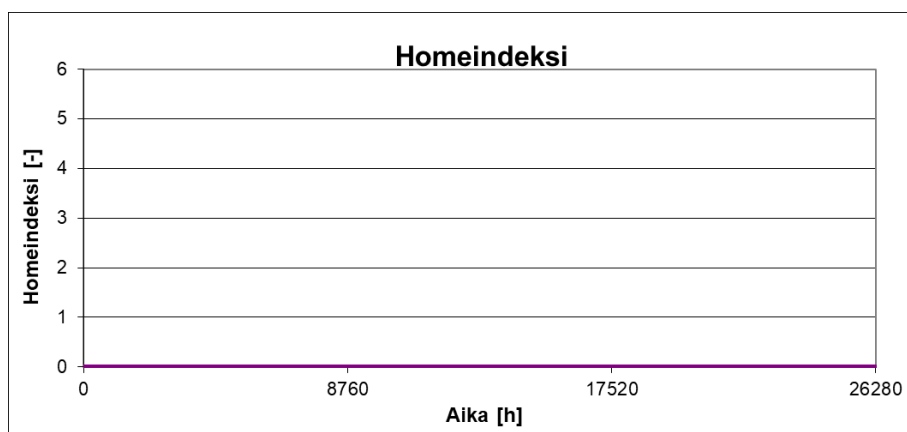
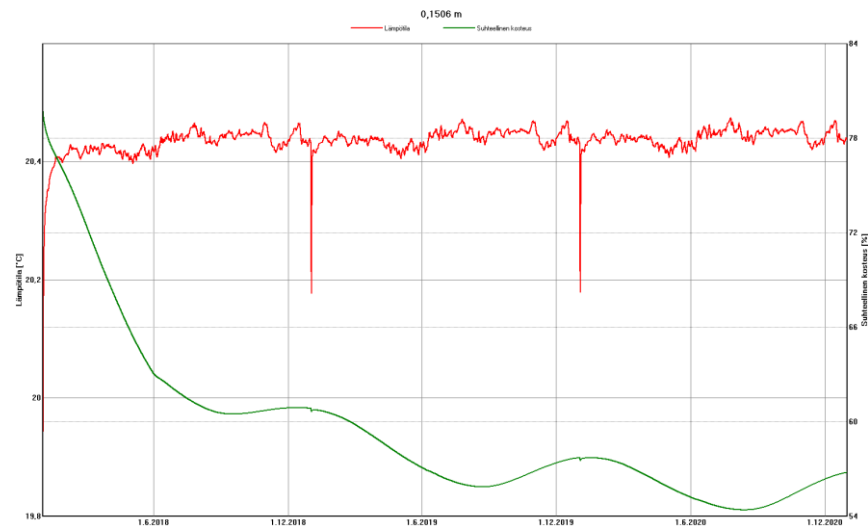


TP-1.4



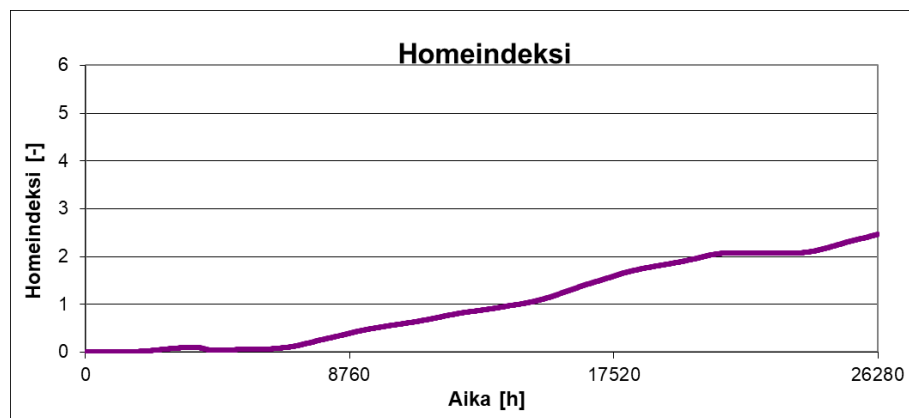
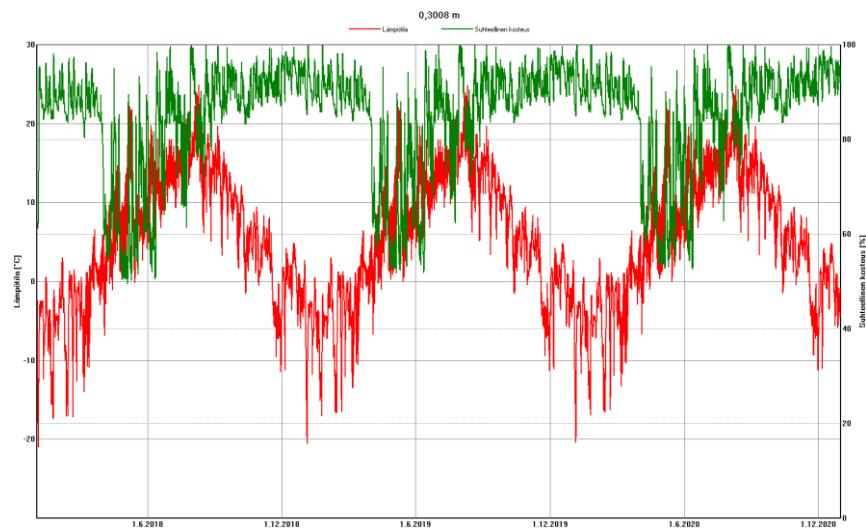


TP-1.5

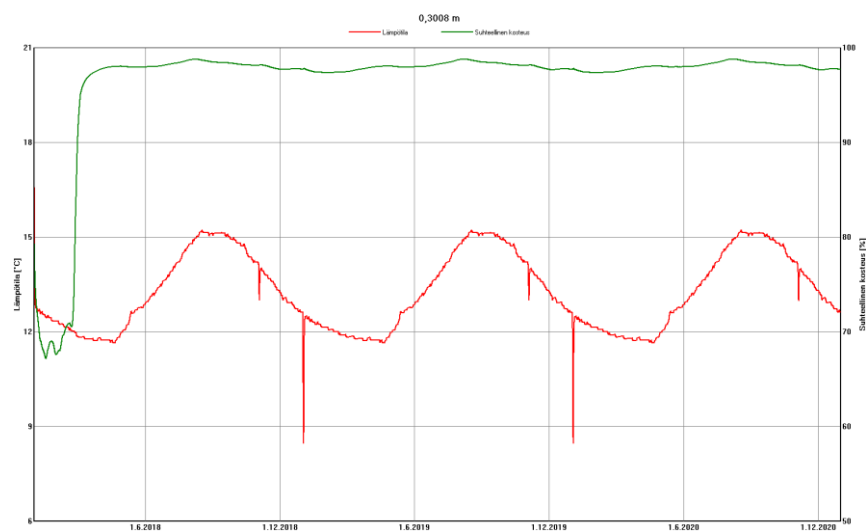


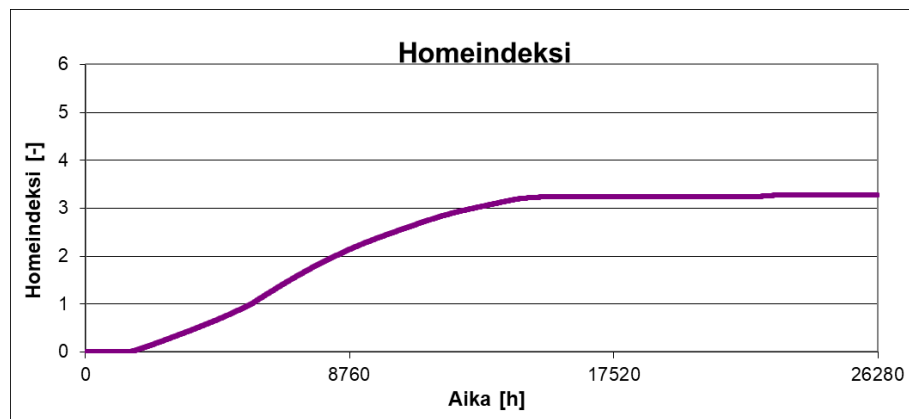
TP-1.6

Tapaus 1 sisäkautta korjattu rakenne



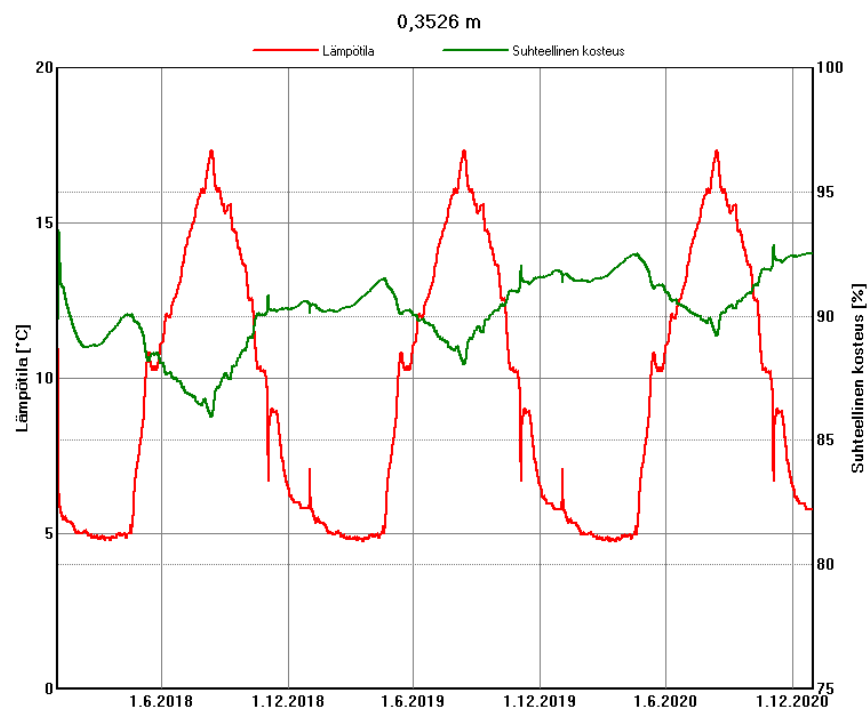
TP-1.1

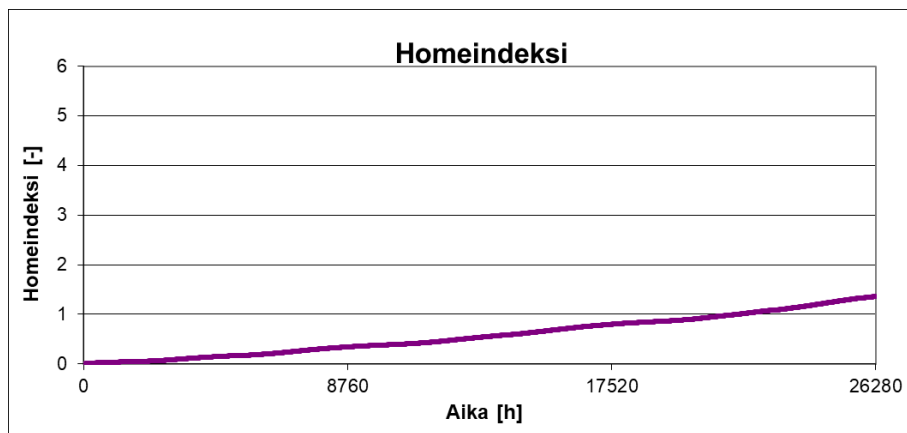




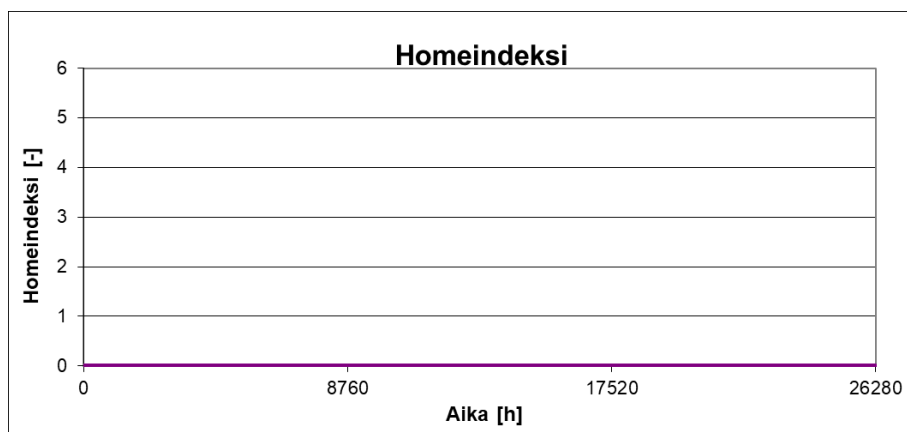
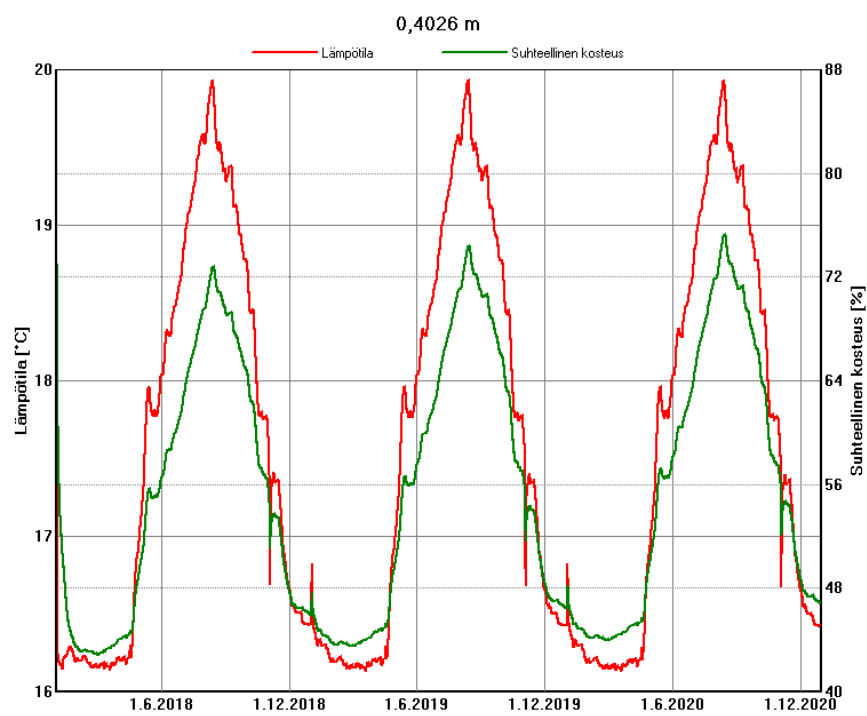
TP-1.2

Tapaus 2 alkuperäinen rakenne

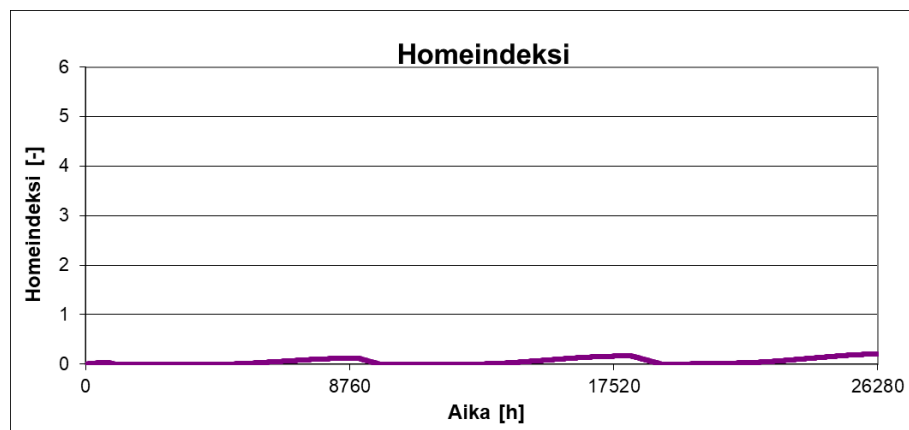
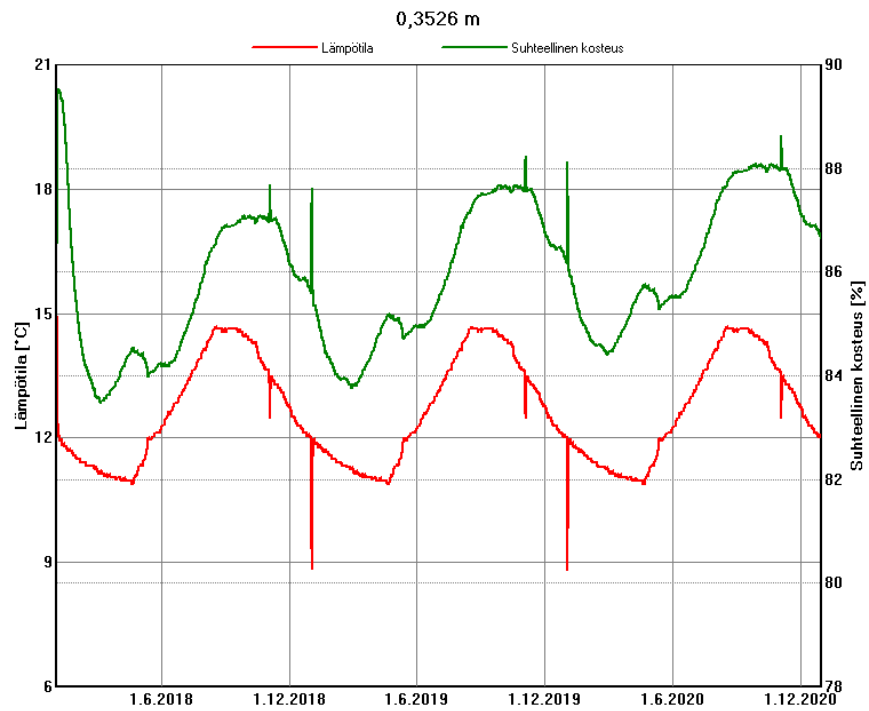




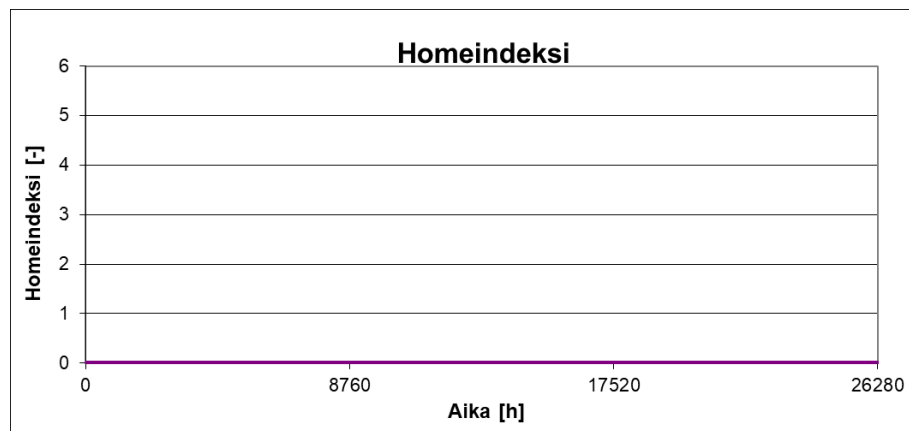
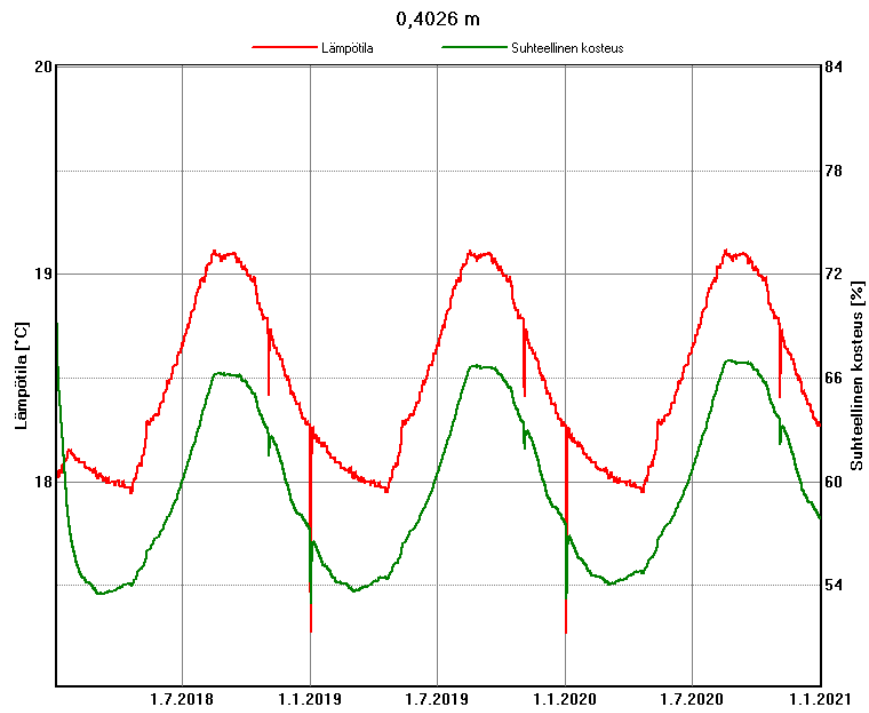
TP-2.1



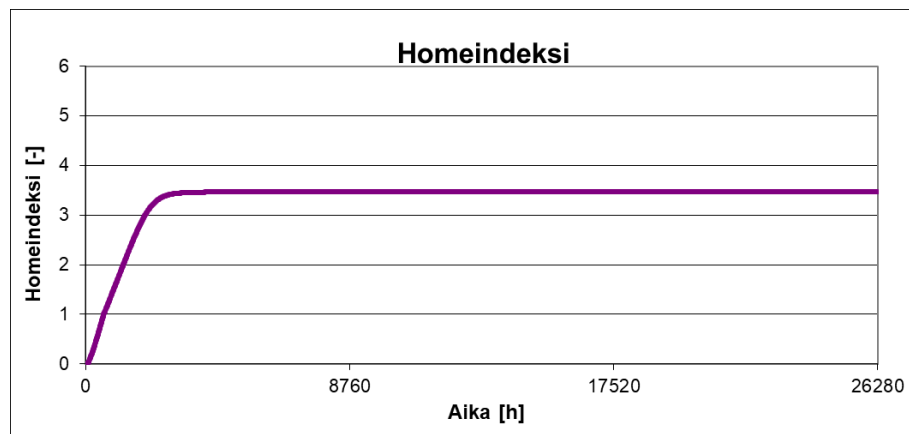
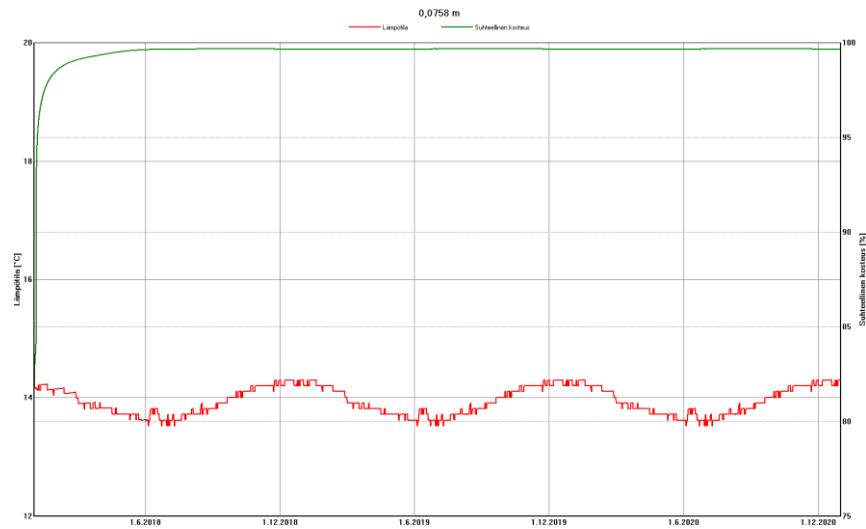
TP-2.2



TP-2.3

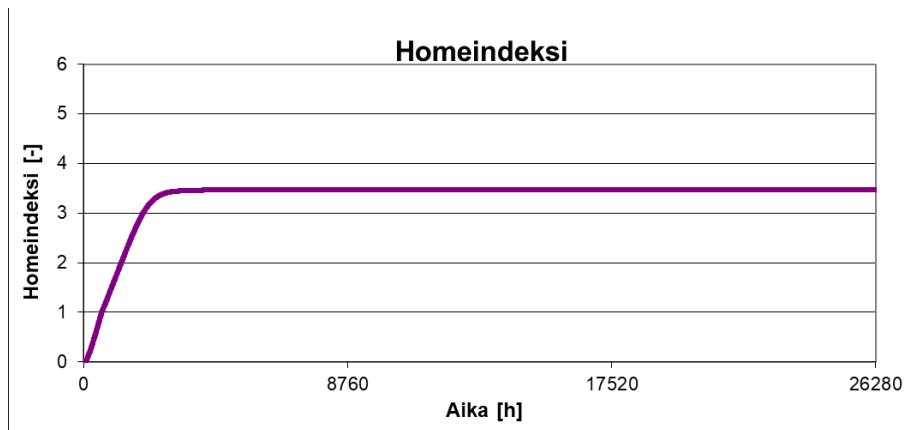


TP2.4



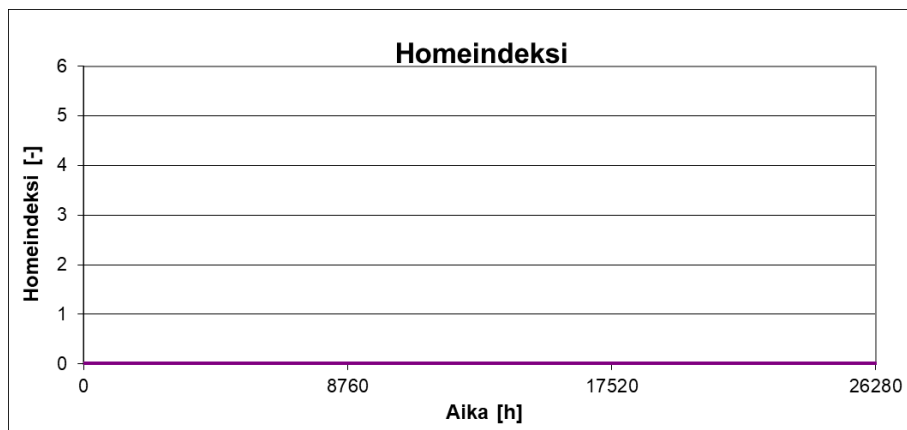
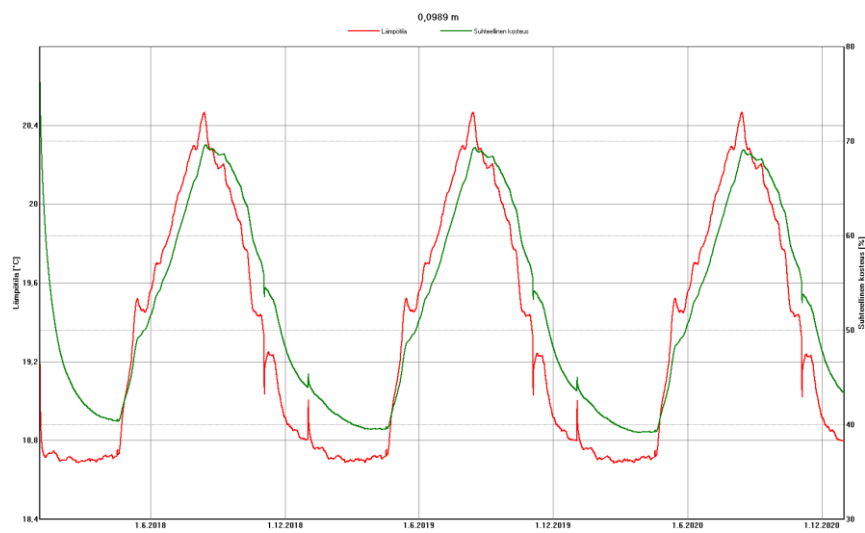
TP-2.5



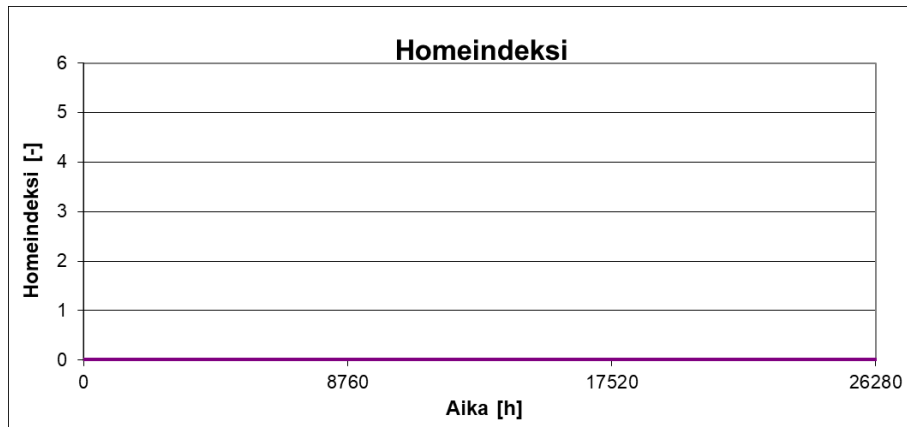
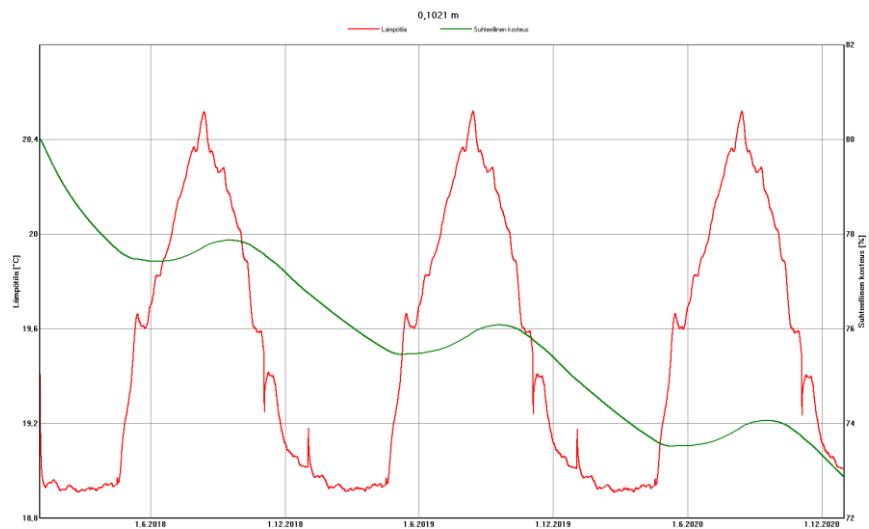


TP-2.6

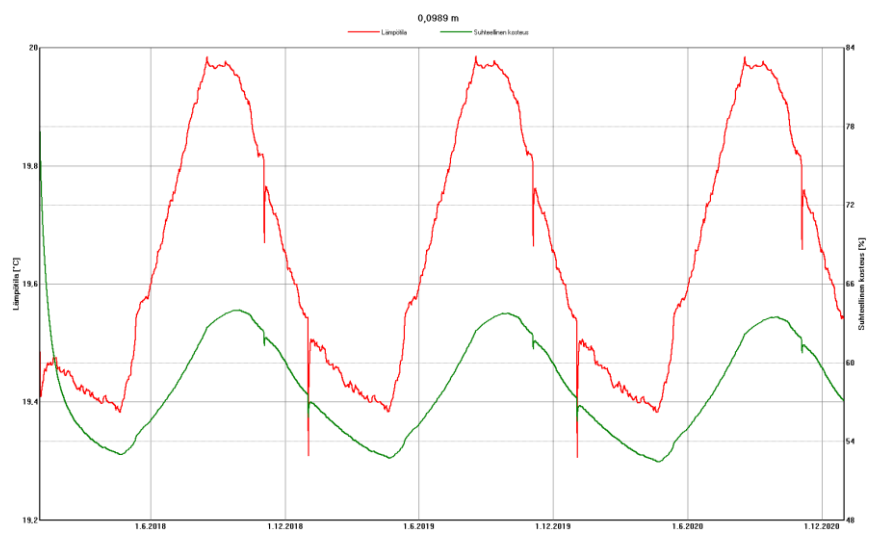
Tapaus 2 ulkokautta korjattu rakenne

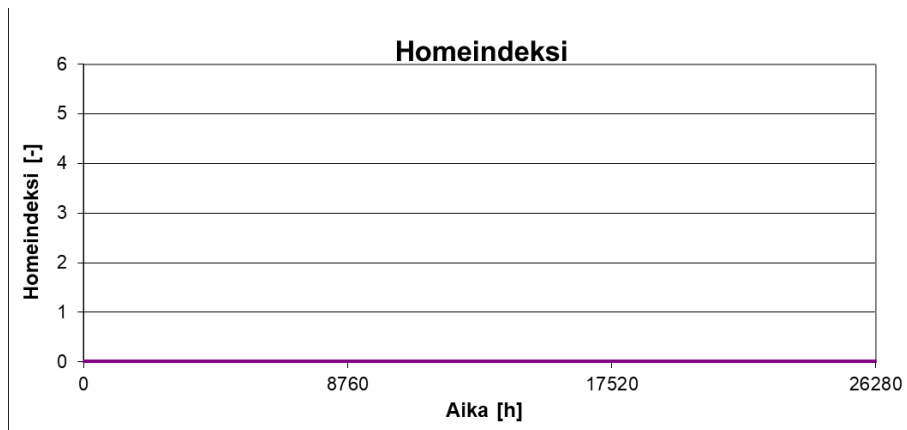


TP-2.1

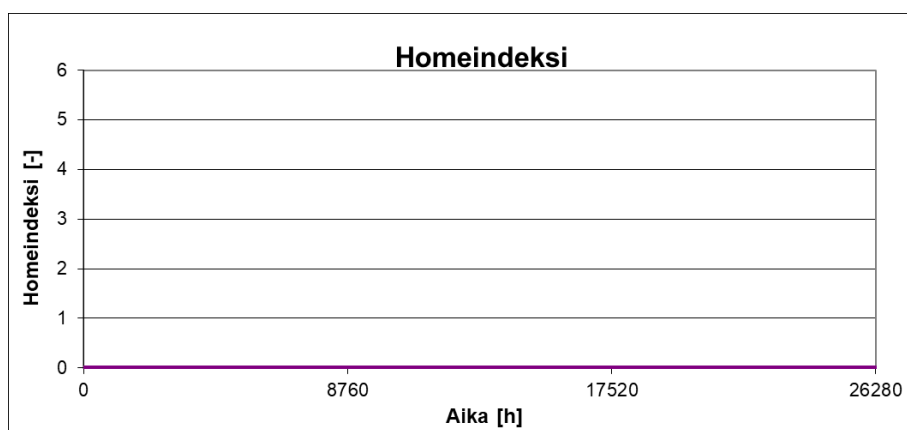
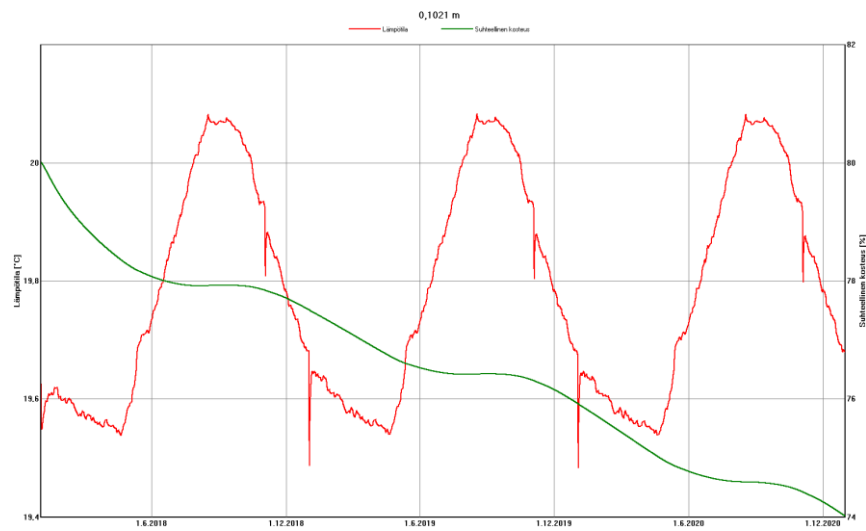


TP-2.2

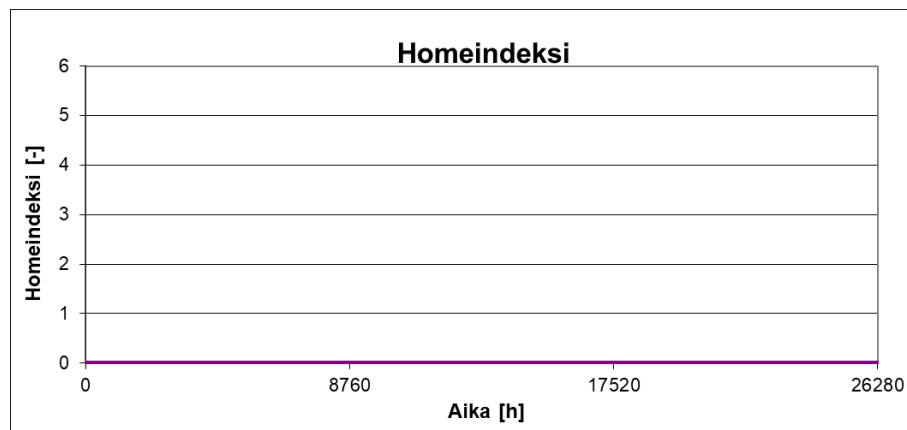
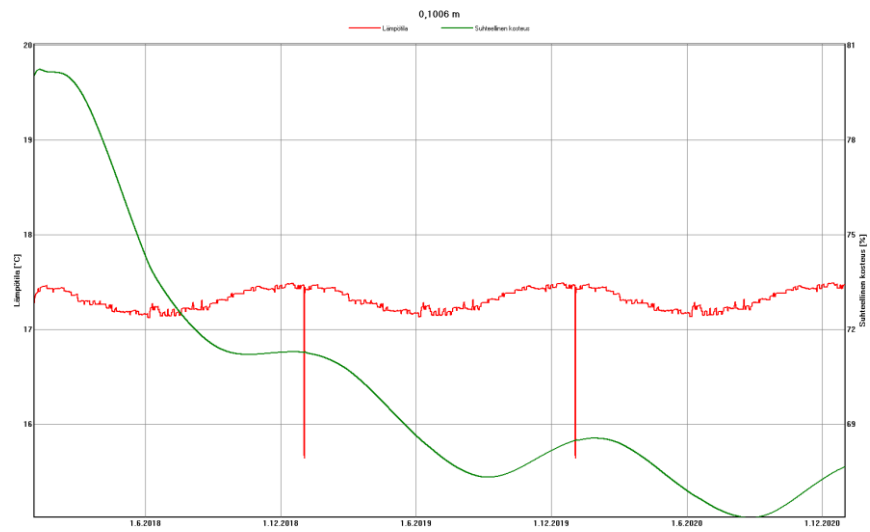




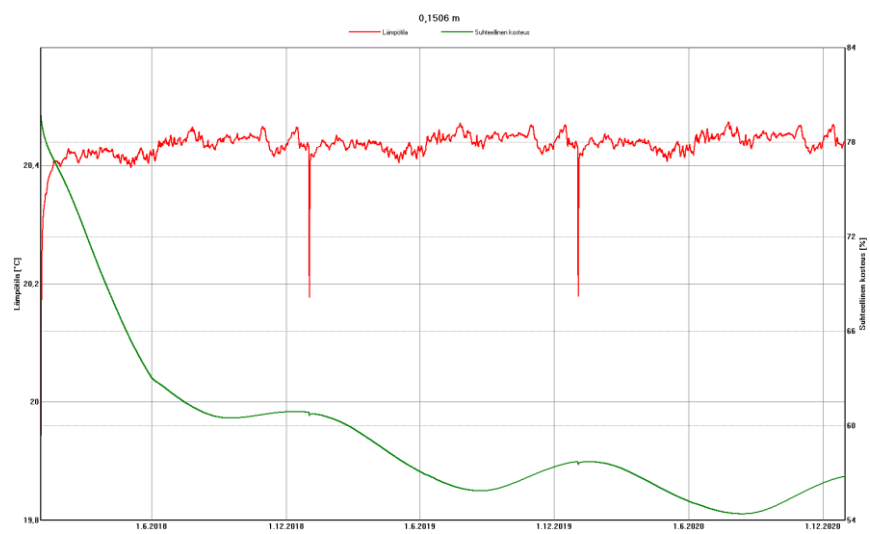
TP-2.3

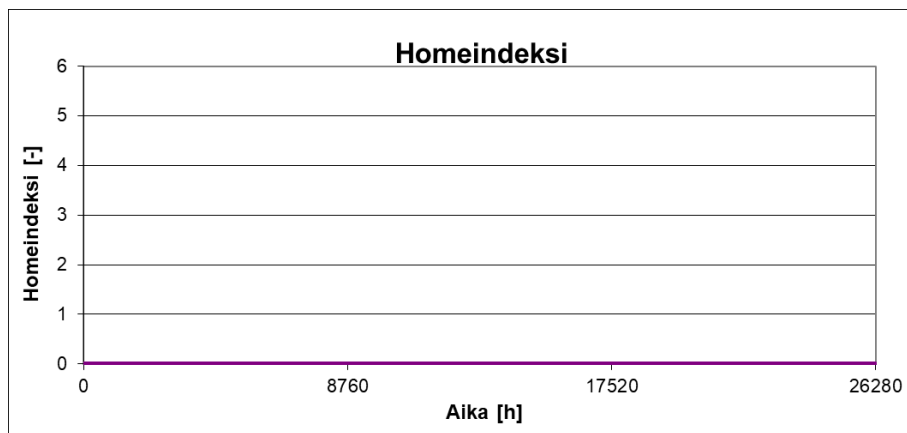


TP-2.4



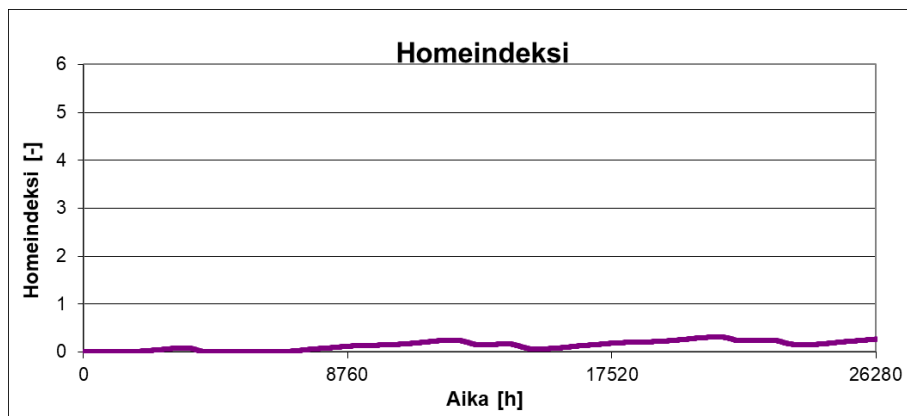
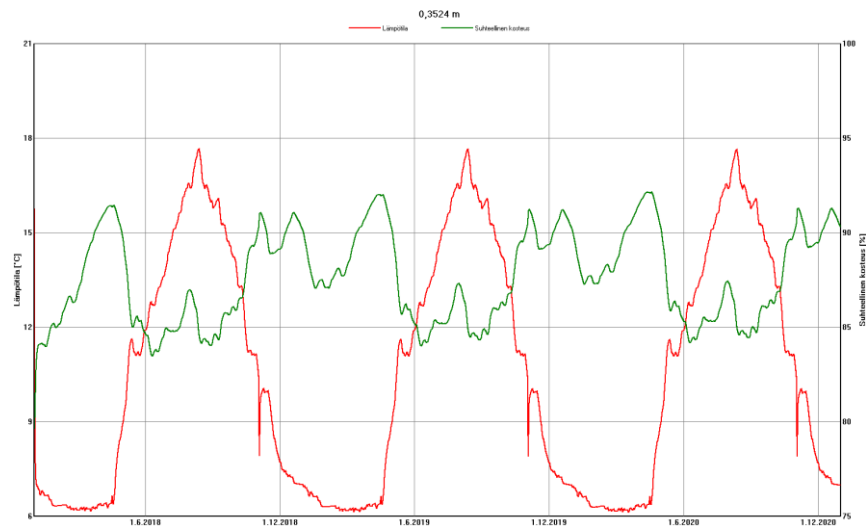
TP-2.5



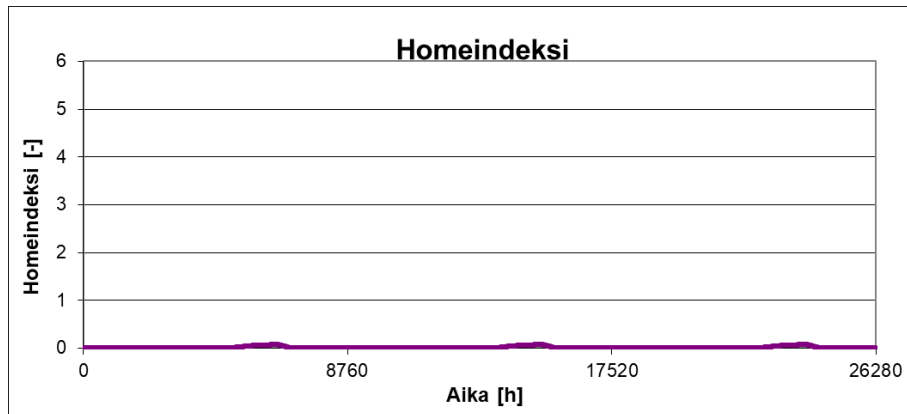
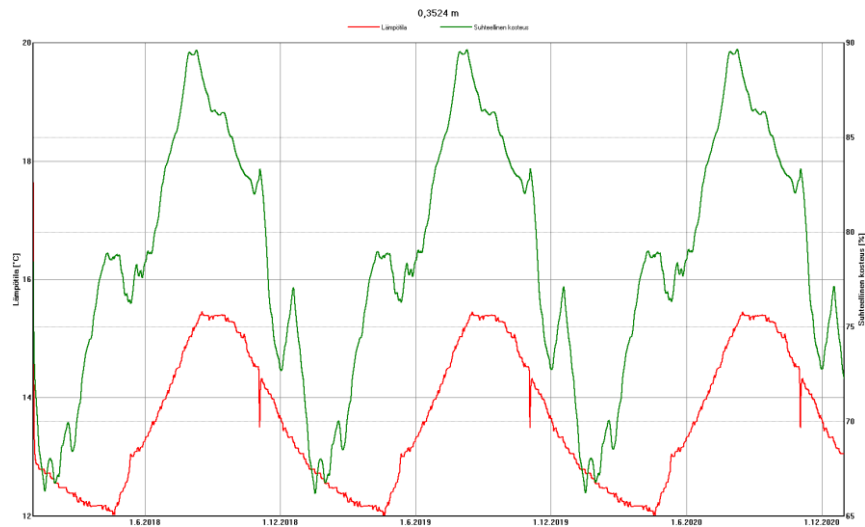


TP-2.6

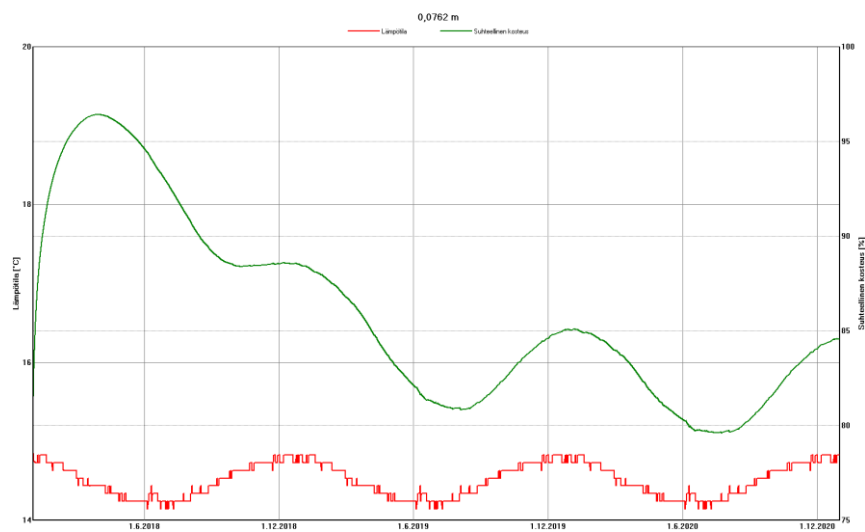
Tapaus 2 sisäkautta korjattu rakenne

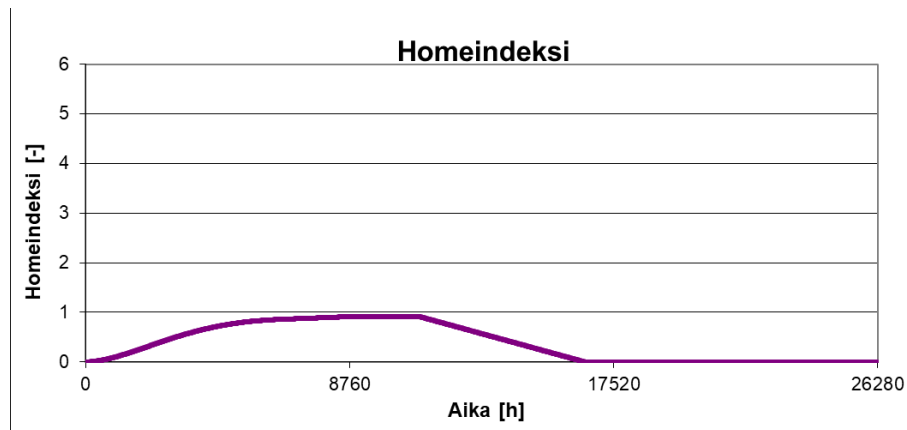


TP-2.1



TP-2.2





TP-2.3